

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL NEURO-
DIFUSO EN UN CENTRO DE CONTROL Y MONITOREO DE TRÁFICO
VEHICULAR CENTRALIZADO PARA LA CIUDAD DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:
CESAR GUTIÉRREZ CAYO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERU

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL NEURO-DIFUSO EN UN CENTRO DE CONTROL Y MONITOREO DE TRÁFICO VEHICULAR CENTRALIZADO PARA LA CIUDAD DE PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

CESAR GUTIÉRREZ CAYO


PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

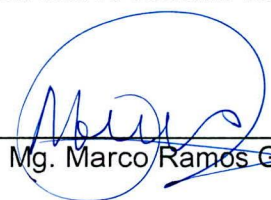
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18-09-2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:




PRESIDENTE : 


 Dr. Marco Antonio Quispe Barra

PRIMER MIEMBRO : 


 Mg. Marco Ramos Gonzales

SEGUNDO MIEMBRO : 

 Mg. David Salinas Mendoza

DIRECTOR DE TESIS : 

 M.Sc. Juan de Dios Larico Paco

ASESOR : 

 Mg. Paul Hernando Mamani Sanchez

PUNO - PERÚ
 2017

ÁREA: Automatización e Instrumentación

TEMA: Control y Automatización

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes me dieron su aliento y confianza muy a pesar de las dificultades que pasaron para concretar este sueño de terminar mi carrera, con afecto y cariño a mi padre Sabino Gutiérrez Q. y mi Madre Carmen Delia Cayo L.

AGRADECIMIENTO

Primeramente un agradecimiento especial a Dios por dame la oportunidad de vivir en este lugar y este tiempo donde conocí persona maravillosas a lo largo del desarrollo profesional y personal.

Un agradecimiento especial a todos los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica por sus enseñanzas y experiencias compartidas que me formaron para afrontar la vida.

También agradecer a Toda mi familia, mis padres y hermanos que me alentaron y brindaron su apoyo en todo momento, en especial a mi Hermana Magda y su Esposo Walter por su incondicional apoyo en estos años de formación académica.

Finalmente agradecer a mi Esposa Roxana mis Hijas Vanessa y Diana, que en esta última etapa de mi carrera me dieron su tiempo e inspiración para poder completar la presente tesis.

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 17 |
| ABSTRACT | 18 |
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| CAPITULO I | |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 23 |
| 1.1.1 PROBLEMA GENERAL | 24 |
| 1.1.2 PROBLEMA ESPECÍFICO | 24 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 25 |
| 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 26 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL | 26 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 26 |
| CAPITULO II | |
| MARCO TEORICO | |
| 2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN | 28 |
| 2.2 SUSTENTO TEÓRICO | 30 |
| 2.4.1 TEORÍA DEL TRÁFICO | 30 |
| 2.4.1.1 VARIABLES IMPORTANTES | 31 |
| 2.4.1.2 GRAFICO FUNDAMENTAL DE FLUJO VEHICULAR | 31 |
| 2.4.1.3 CONGESTIÓN | 33 |
| 2.4.2 SISTEMAS DE CONTROL DE SEMÁFOROS | 33 |
| 2.4.2.1 DE TIEMPO FIJO | 34 |
| 2.4.2.2 DINÁMICOS | 34 |
| 2.4.2.3 COORDINADOS | 35 |
| 2.4.2.4 ACTUADOS / SEMI-ACTUADOS | 37 |
| 2.4.2.5 ADAPTATIVOS | 37 |
| 2.4.2.6 SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE VEHÍCULOS | 38 |
| 2.4.3 TECNOLOGÍAS DE SIMULACION APLICADAS AL TRÁFICO | 39 |
| 2.4.3.1 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR | 39 |
| 2.4.3.1.1 MICROSCÓPICO (ALTA FIDELIDAD) | 41 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.4.3.1.2 | MESOSOPICA (MEDIANA FIDELIDAD) | 41 |
| 2.4.3.1.3 | MACROSCÓPICA (BAJA FIDELIDAD) | 42 |
| 2.4.3.1.4 | DETERMINISTA | 43 |
| 2.4.3.1.5 | ESTOCÁSTICA..... | 43 |
| 2.4.4 | SISTEMA SCADA..... | 43 |
| 2.4.4.1 | DEFINICIÓN..... | 43 |
| 2.4.4.2 | CONCEPTOS ASOCIADOS A UN SISTEMA SCADA | 44 |
| 2.4.4.2.1 | SISTEMA | 44 |
| 2.4.4.2.2 | SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS | 44 |
| 2.4.4.2.3 | CONTROL | 45 |
| 2.4.4.2.4 | CONTROL SUPERVISORIO | 45 |
| 2.4.4.2.5 | SEÑAL ANALÓGICA | 46 |
| 2.4.4.2.6 | SEÑAL DIGITAL | 46 |
| 2.4.4.2.7 | TIEMPO REAL..... | 46 |
| 2.4.4.3 | PRESTACIONES | 46 |
| 2.4.4.4 | REQUISITOS BÁSICOS | 47 |
| 2.4.4.5 | FUNCIONES PRINCIPALES..... | 48 |
| 2.4.4.6 | COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA | 49 |
| 2.4.4.6.1 | HARDWARE | 49 |
| 2.4.4.6.2 | SOFTWARE..... | 50 |
| 2.4.4.7 | FLUJO DE INFORMACIÓN EN LOS SISTEMAS SCADA | 51 |
| 2.4.4.8 | COMUNICACIONES | 52 |
| 2.4.4.8.1 | TOPOLOGÍA DE LA RED..... | 53 |
| 2.4.4.8.2 | BUSES DE CAMPO..... | 54 |
| 2.4.4.8.3 | COMUNICACIÓN OPC..... | 55 |
| 2.4.4.9 | INFILINK..... | 57 |
| 2.4.5 | LOGICA DIFUSA | 59 |
| 2.4.5.1 | INTRODUCCIÓN A LA LÓGICA DIFUSA | 59 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.4.5.2 | SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA | 62 |
| 2.4.5.2.1 | FASE DE FUSIFICACIÓN | 63 |
| 2.4.5.2.2 | MÁQUINA DE INFERENCIA..... | 63 |
| 2.4.5.2.3 | BASE DE REGLAS..... | 64 |
| 2.4.5.2.4 | FASE DE DEFUSIFICACIÓN | 65 |
| 2.4.6 | REDES NEURONALES ARTIFICIALES..... | 68 |
| 2.4.6.1 | INTRODUCCIÓN A LAS REDES NEURONALES | 68 |
| 2.4.6.2 | ¿QUÉ ES UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL? | 70 |
| 2.4.6.3 | TIPOS DE APRENDIZAJES..... | 73 |
| 2.4.7 | SISTEMAS NEURO-DIFUSOS | 75 |
| 2.4.7.1 | INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS NEURO-DIFUSOS..... | 75 |
| 2.4.7.2 | VENTAJAS DE LOS SISTEMAS NEURO-DIFUSOS..... | 76 |
| 2.4.7.3 | MODELOS DE SISTEMAS NEURO-DIFUSOS | 77 |
| 2.4.7.4 | SISTEMAS NEURO-DIFUSO TIPO HÍBRIDO | 78 |
| 2.4.7.5 | SISTEMAS COOPERATIVOS NEURO-DIFUSOS..... | 80 |
| 2.4.7.6 | EL SISTEMA NEURODIFUSO ANFIS | 82 |
| 2.4.7.6.1 | ANFIS Y LA REGLA DE APRENDIZAJE HÍBRIDA | 87 |
| 2.4.7.6.2 | AGRUPAMIENTO DIFUSO | 89 |
| 2.3 | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | 93 |
| 2.3.1 | HIPÓTESIS GENERAL..... | 93 |
| 2.3.2 | HIPÓTESIS ESPECÍFICA..... | 93 |
| 2.4 | OPERACIONALIZACION DE VARIABLES | 94 |
| | CAPITULO III | |
| | DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN | |
| 3.1 | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 96 |
| 3.2 | POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN..... | 96 |
| 3.2.1 | POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 96 |
| 3.2.2 | MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 97 |
| 3.3 | UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN | 97 |
| 3.3.1 | UBICACIÓN DE LA POBLACIÓN..... | 97 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 3.3.2 | DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN | 97 |
| 3.4 | MATERIAL EXPERIMENTAL | 98 |
| 3.4.1 | HARDWARE | 98 |
| 3.4.2 | SOFTWARE..... | 99 |
| 3.5 | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN | 99 |
| 3.5.1 | TÉCNICAS | 99 |
| 3.5.2 | INSTRUMENTOS | 99 |
| 3.6 | TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS | 100 |
| 3.6.1 | PROCESAMIENTO DE DATOS..... | 100 |
| 3.6.2 | ANÁLISIS DE LOS DATOS..... | 100 |
| 3.7 | PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO | 101 |
| 3.7.1 | ESCENARIO INICIAL..... | 101 |
| 3.7.1.1 | ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA SEMAFÓRICO DE LA CIUDAD DE PUNO..... | 101 |
| 3.7.1.2 | PARQUE AUTOMOTOR EN LA REGIÓN PUNO | 102 |
| 3.7.1.3 | FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE PUNO | 104 |
| 3.7.2 | REQUISITOS DEL SISTEMA..... | 105 |
| 3.7.2.1 | HARDWARE | 106 |
| 3.7.2.2 | SOFTWARE | 106 |
| 3.7.3 | DISEÑO DEL SISTEMA | 106 |
| 3.7.3.1 | DISEÑO DEL CONTROLADOR Y SEMÁFORO | 108 |
| 3.7.3.1.1 | DISEÑO DEL CONTROLADOR | 108 |
| 3.7.3.1.2 | DISEÑO DEL SEMÁFORO..... | 110 |
| 3.7.3.2 | DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN..... | 111 |
| 3.7.3.3 | DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y SISTEMA SCADA..... | 111 |
| 3.7.4 | IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO..... | 113 |
| 3.7.4.1 | IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR Y SEMÁFORO..... | 113 |
| 3.7.4.1.1 | IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR | 113 |
| 3.7.4.1.2 | IMPLEMENTACIÓN DEL SEMÁFORO | 129 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 3.7.4.2 | IMPLEMENTACIÓN DE ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN.. | 140 |
| 3.7.4.2.1 | TOPOLOGÍA DE LA RED..... | 141 |
| 3.7.4.2.2 | BUSES DE CAMPO..... | 141 |
| 3.7.4.2.3 | ARQUITECTURA GENERAL DE COMUNICACIÓN | 141 |
| 3.7.4.2.4 | ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN IMPLEMENTADA ... | 145 |
| 3.7.4.3 | IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y SISTEMA SCADA | 146 |
| 3.7.4.3.1 | ESQUEMA GENERAL DE CONTROL | 148 |
| 3.7.4.3.2 | GESTIÓN DE DATOS DEL SISTEMA..... | 153 |
| 3.7.4.3.3 | CALCULO DE LOS TIEMPOS DE TEMPORIZACIÓN | 157 |
| 3.7.4.4 | SISTEMA DE CONTROL Y SCADA | 176 |
| 3.7.4.4.1 | ARQUITECTURA DE CONTROL SISTEMA SEMAFÓRICO.. | 176 |
| 3.7.4.4.2 | SISTEMA SCADA..... | 181 |
| 3.8 | PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS | 183 |
| 3.9 | DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS | 183 |
| | CAPITULO IV | |
| | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | |
| 4.1 | SIMULACIÓN DEL CONTROL DE TRÁFICO | 184 |
| 4.1.1 | PRIMERA SIMULACIÓN..... | 186 |
| 4.1.2 | SEGUNDA SIMULACIÓN | 188 |
| 4.1.3 | TERCERA SIMULACIÓN | 190 |
| 4.2 | PRUEBA DE HIPÓTESIS..... | 193 |
| 4.2.1 | PRUEBA DE HIPÓTESIS 1: VELOCIDAD PROMEDIO DEL FLUJO VEHICULAR | 193 |
| 4.2.2 | PRUEBA DE HIPÓTESIS 2: TIEMPO DE VIAJE ENTRE INTERSECCIONES..... | 196 |
| | CONCLUSIONES | 199 |
| | SUGERENCIAS | 201 |
| | BIBLIOGRAFIA | 203 |
| | ANEXOS | 207 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 : Ventajas y Desventajas Sistemas Tiempo Fijo | 34 |
| Tabla 2 : Ventajas y Desventajas Sistemas Coordinados..... | 36 |
| Tabla 3 : Topologías de RED..... | 53 |
| Tabla 4 : Buses de Campo..... | 55 |
| Tabla 5 : Diferencias y Similitudes entre las RNA y LD..... | 76 |
| Tabla 6 : Operacionalización de variables de acuerdo a objetivo de estudio ... | 95 |
| Tabla 7 : Corredores viales en la ciudad de Puno..... | 97 |
| Tabla 8 : Intersecciones que requieren la implementación de semáforos centralizados | 102 |
| Tabla 9 : Parque automotor en circulación a nivel nacional, según 'departamento, 2004 – 2013 | 104 |
| Tabla 10 : De la Oferta de Transporte en la ciudad de Puno | 105 |
| Tabla 11 : Corredores viales en la Ciudad de Puno..... | 149 |
| Tabla 12 : Lista de semáforos existentes en la Av. el Sol | 150 |
| Tabla 13 : Temporización actual de los semáforos en la Av. El Sol..... | 151 |
| Tabla 14 : Estructura de lectura de información de sensor por intersección.. | 156 |
| Tabla 15 : Estructura de datos Para Generar modelo ANFIS de Via Principal | 162 |
| Tabla 16 : Extracto Parámetros de flujo vehicular en la Av. el Sol | 163 |
| Tabla 17 : Extracto de Flujo Vehicular en vías secundarias..... | 167 |
| Tabla 18 : Tiempo de recorrido entre tramo semaforizada en la Av. El Sol ... | 172 |
| Tabla 19 : Extracto de tiempos de recorrido y desfase en la vía principal | 173 |
| Tabla 20 : Parámetros iniciales de configuración de temporización de la Av. El Sol..... | 179 |
| Tabla 21 : Temporización actual de los semáforos en la Av. El Sol..... | 186 |
| Tabla 22 : Temporización de semaforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la primera simulación..... | 186 |
| Tabla 23 : Datos de Primera Simulación, velocidad promedio de circulacion en la Av. El Sol..... | 187 |
| Tabla 24 : Datos de Primera Simulacion del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol | 187 |
| Tabla 25 : Temporización de semaforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la segunda simulación | 189 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 26 : Datos de Segunda Simulación, velocidad promedio de circulación en la Av. El Sol..... | 189 |
| Tabla 27 : Datos de Segunda Simulación del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol..... | 190 |
| Tabla 28 : Temporización de semáforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la tercera simulación..... | 191 |
| Tabla 29 : Datos de Tercera Simulación, velocidad promedio de circulación en la Av. El Sol..... | 191 |
| Tabla 30 : Datos de Tercera Simulación del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol..... | 192 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 : Diagrama Fundamental de Flujo Vehicular | 32 |
| Figura 2 : Esquema básico de un sistema SCADA | 51 |
| Figura 3 : Funcionamiento comunicación OPC | 56 |
| Figura 4 : Comunicación OPC en SCADA | 57 |
| Figura 5 : Estructura de un sistema de Lógica Difusa | 62 |
| Figura 6 : Fusificación | 63 |
| Figura 7 : Maquina de inferencia..... | 64 |
| Figura 8 : Método del centroide..... | 65 |
| Figura 9 : Método de altura | 66 |
| Figura 10 : Método de los máximos | 67 |
| Figura 11 : Método del valor promedio de los valores máximos | 67 |
| Figura 12 : Método del centro de maximos | 68 |
| Figura 13 : Primera aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos | 80 |
| Figura 14 : Segunda aproximación de los Sistemas Neuro- Difusos Cooperativos..... | 81 |
| Figura 15 : Tercera aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos | 81 |
| Figura 16 . Cuarta aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos..... | 82 |
| Figura 17 : Sistema de Inferencia Difuso tipo Sugeno de primer orden con dos entradas y dos reglas difusas..... | 84 |
| Figura 18 : Arquitectura ANFIS equivalente | 84 |
| Figura 19 : Parámetros de la Función de Membresía Campana Generalizada | 85 |
| Figura 20 : Pasos en el agrupamiento de datos..... | 89 |
| Figura 21 : Partición por rejilla..... | 91 |
| Figura 22 : Arreglo general de montaje del controlador semafórico..... | 128 |
| Figura 23 : Arquitectura de comunicación..... | 142 |
| Figura 24 : Vías en la ciudad de Puno | 144 |
| Figura 25 : Arquitectura de Red Via Av. El Sol..... | 146 |
| Figura 26 : Corredores viales en la ciudad de Puno | 149 |
| Figura 27 : Ubicación de semáforos existentes en la Av. El Sol | 151 |

| | |
|---|-----|
| Figura 28 : Temporización actual de semáforos en Av. el Sol | 152 |
| Figura 29 : Temporización de semáforos con tiempos y secuencia coordinada en Av. el Sol..... | 153 |
| Figura 30 : Estructura ANFIS entrenada para la Vía principal | 165 |
| Figura 31 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS Vía principal | 165 |
| Figura 32 : Calculo de tiempo en verde de vía principal | 166 |
| Figura 33 : Estructura ANFIS entrenada para la Vía secundaria | 168 |
| Figura 34 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS para la via secundaria..... | 169 |
| Figura 35 : Calculo de tiempo de verde de vía secundaria | 169 |
| Figura 36 : Estructura ANFIS entrenada para el desfase entre semáforos | 174 |
| Figura 37 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS para desfase entre semáforos | 174 |
| Figura 38 : Calculo de tiempo de desfase entre semáforos sobre Av. El Sol. | 175 |
| Figura 39 : Diagrama de flujo de la arquitectura de control del sistema semaforico centralizado | 178 |
| Figura 40 : Pantalla Scada diseñado en Infilink | 182 |
| Figura 41 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Primera simulación | 187 |
| Figura 42 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Primera Simulación..... | 188 |
| Figura 43 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Segunda simulación .. | 189 |
| Figura 44 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Segunda Simulación..... | 190 |
| Figura 45 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Tercera simulación | 191 |
| Figura 46 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Tercera Simulación..... | 192 |
| Figura 47 : Region critica y de confianza de hipotesis velocidad promedio ... | 195 |
| Figura 48 : Region critica y de confianza de hipotesis tiempo de viaje | 198 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1 : Sensores Inductivos de flujo vehicular..... | 35 |
| Gráfico 2 : Esquema Maestro - Control Local | 36 |
| Gráfico 3 : Esquema en cadena..... | 36 |
| Gráfico 4 : Esquema central de tráfico, controles maestros y locales | 36 |
| Gráfico 5 : Esquema central de tráfico y controles encadenados | 37 |
| Gráfico 6 : Modelos de Simulación del tráfico vehicular | 42 |
| Gráfico 7 : Pantalla de edición de Infilink | 59 |
| Gráfico 8 : Redes Neuronal Biológica | 70 |
| Gráfico 9 : Neurona Artificial | 71 |
| Gráfico 10 : Tablero Eléctrico TOTEN IP66 | 115 |
| Gráfico 11 : Relé inteligente Zelio Logic SR3 B101BD | 117 |
| Gráfico 12 : Fuente de Alimentación Schneider Electric ABL8MEM24012 | 118 |
| Gráfico 13 : Módulo de Comunicación Ethernet SR3 NET01BD..... | 119 |
| Gráfico 14 : Módulo de Comunicación Modbus SR3 MBU01BD..... | 120 |
| Gráfico 15 : Módulo de Expansión E/S SR3 XT101BD..... | 121 |
| Gráfico 16 : Llave termomagnética Schneider Electric - A9F74110..... | 124 |
| Gráfico 17 : Riel DIN | 124 |
| Gráfico 18 : Canaleta Ranurada..... | 125 |
| Gráfico 19 : Cable SIS | 125 |
| Gráfico 20 : Terminal tipo PIN Tubular..... | 126 |
| Gráfico 21 : Sensor de presencia magnético para Vehículos | 127 |
| Gráfico 22 : Controlador Implementado | 129 |
| Gráfico 23 : Semáforo LED 3 x 300mm Policarbonato SV3X-300 | 131 |
| Gráfico 24 : Semáforo Peatonal LED 2 x 300mm Policarbonato SP2X-300 .. | 132 |
| Gráfico 25 : Semáforo Contador Vehicular regresiva de 2 dígitos SC1X-300 | 133 |
| Gráfico 26 : Ciclo de funcionamiento de semáforo reloj de arena..... | 134 |
| Gráfico 27 : Tarjeta Electrónica de Control del semáforo tipo Arena | 136 |
| Gráfico 28 : Tarjeta Electrónica del Registro de Corrimiento del semáforo tipo Arena | 137 |
| Gráfico 29 : Tarjeta Matriz de Leeds del semáforo tipo Arena | 138 |
| Gráfico 30 : Extracto del Programa desarrollado en compilador PCHW | 139 |
| Gráfico 31 : Semáforo Tipo Reloj de Arena Implementado..... | 140 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 32 : Intersección semaforizadas con ubicación de sensores | 154 |
| Gráfico 33 : Estructura de lectura de información de sensor por intersección | 160 |
| Gráfico 34 : Medición de distancia entre Av. Floral y Jr. Los Incas | 171 |
| Gráfico 35 : Pantalla de diseño del software Synchro | 184 |
| Gráfico 36 : Pantalla de Ingreso de datos del flujo vehicular para simulación | 185 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO 1: PLANOS | 207 |
| A1.1 Planos de Construcción del Controlador de Tráfico..... | 208 |
| A1.2 Planos de Construcción del Semáforo en Forma de Reloj de Arena..... | 215 |
| ANEXO 2: DATOS RECOPIRADOS | 216 |
| A2.1 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Primera Simulación | 216 |
| A2.2 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Segunda Simulación..... | 219 |
| A2.3 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Tercera Simulación..... | 222 |
| ANEXO 3: PRESUPUESTO..... | 225 |
| A3.1 Presupuesto de Implementación del controlador semafórico | 225 |
| A3.2 Presupuesto de Controlador Sincronizado del Mercado..... | 225 |

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño e implementación de un sistema de control neuro difuso en un centro de control y monitoreo de tráfico vehicular centralizado para la ciudad de Puno. Como es sabido el apogeo de la economía nacional trajo consigo el incremento del parque automotor del país y nuestra ciudad no está al margen de ello, este incremento en la cantidad de vehículos que circulan en la ciudad trae consigo el problema de la congestión vehicular, la infraestructura actual del sistema de semaforización no se adecua a este cambio, ya que la programación de los mismos es de tiempo fijo y de operación, es así que nace la idea de implementar un proyecto que centralice todos los semáforos que se encuentran en la ciudad, aumentarle dispositivos de entrada de tal modo que se pueda tener información del tráfico en tiempo real, analizar esta información y emplearlo en un sistema de control neurodifuzo ANFIS para el cálculo óptimo de parámetros de temporización. El proyecto se centra en tres aspectos; Primero el diseño e implementación de un controlador con capacidad de comunicación Modbus y/o Ethernet, compatible con los semáforos existentes, segundo el diseño e implementación de la arquitectura de comunicación de los controladores y finalmente la arquitectura de control y scada del sistema de control, con el sistema implementado se realizó simulaciones, obteniendo una mejora del 18.6 % de la velocidad promedio, así mismo se tiene una mejora en el tiempo de viaje promedio del 28.1% respecto al sistema de control semafórico actual. Con estos resultados podemos indicar que se mejoró el flujo vehicular.

Palabras Clave: Controlador semafórico, ANFIS, Scada, Neuro-difuso.

ABSTRACT

The present work deals with the design and implementation of a neuro-diffuse control system in a centralized traffic control and monitoring center for the city of Puno. As it is known the apogee of the national economy brought with it the increase of the automobile park of the country and our city is not on the margin of it, this increase in the amount of vehicles that circulate in the city brings with it the problem of the vehicular congestion, the The current infrastructure of the traffic signaling system does not adapt to this change, since the programming of the same is of fixed time and of operation, this is how the idea of implementing a project that centralises all the traffic lights found in the city was born. increase input devices in such a way that you can have real-time traffic information, analyze this information and use it in an ANFIS neuro-fuzzy control system for the optimal calculation of timing parameters. The project focuses on three aspects; First the design and implementation of a controller with Modbus and / or Ethernet communication capability, compatible with the existing traffic lights, second the design and implementation of the communication architecture of the controllers and finally the control and scada architecture of the control system, with the implemented system, simulations were performed, obtaining an improvement of 18.6% of the average speed, as well as an improvement in the average travel time of 28.1% with respect to the current traffic control system. With these results we can indicate that the vehicular flow was improved.

Keywords: Semaphoric controller, ANFIS, Scada, neuro-fuzzy

INTRODUCCIÓN

La saturación del tráfico vehicular en estos tiempo es un problema generalizado en todo el país, siendo Puno la Ciudad capital de la región sufre también de este problema, las causas para este congestionamiento tiene múltiples razones que van desde el diseño de las vías, estado de las mismas, el sistema de semaforización, el conductor, el peatón. Desde el punto de vista de nuestra carrera podemos plantear una solución para uno de los factores de este problema, el cual es la mejora del sistema de semaforización.

El sistema actual de semaforización de la ciudad quedó un tanto desfasadas a las tecnologías actuales, ya que los controladores no poseen comunicación entre ellos, son de operación local y de temporización fija, y no están sincronizados ni coordinados; como tienen programación fija, esta no se adapta al cambio del estado de flujo vehicular de la ciudad, al no estar en una red que los monitoree, cuando ocurre fallas no se reportan inmediatamente y no se toman acciones correctivas. Por ello este proyecto propone la instalación de un sistema de control semafórico centralizado, donde todos los semáforos estén integrados en un red, ser monitoreados y controlados, y para una mejor gestión del flujo vehicular se plantea el uso de un sistema adaptativo de inferencia neuro-difuso (ANFIS, por sus siglas en ingles), para el cálculo de los parámetros de temporización que mejor se ajuste para optimizar el flujo vehicular.

El presente proyecto de investigación titulado “Diseño e implementación de un sistema de control neuro-difuso en un centro de control y monitoreo de tráfico vehicular centralizado para la ciudad de Puno” plantea una posible solución al

congestionamiento vehicular, en uno de los aspectos el cual es el sistema semafórico, para ello la solución se plantea en tres aspectos principales.

Primero, se plantea el diseño e implementación de un controlador de tráfico con capacidad de comunicación Modbus y/o Ethernet, con ello este controlador podrá ser integrado a un sistema de control centralizado, otro requisito para este controlador es que sea compatible con los semáforos existentes en la ciudad, de tal modo que no se requiera hacer muchos cambios en una posible implementación a escala real, otro aspecto a considerar es que el controlador tenga la posibilidad de recopilar información a través de los sensores del estado de flujo vehicular en tiempo real, esta información será usado por el sistema de control que lo almacenara y procesara para mejorar el flujo vehicular, otro aspecto a considerar para el diseño de este controlador es el costo ya que en el mercado existen tecnologías similares a las que se plantea pero a un costo bastante elevado, sin embargo por las funciones básicas que requiere un controlador semafórico este podría impleméntense con equipos más económicos.

Segundo, corresponde al diseño e implementación de la arquitectura de comunicación del sistema, este es un aspecto muy importante, ya que se desea tener integrado todos los controladores y para ello debemos de establecer una plataforma que garantice la comunicación entre los controladores y el sistema central, para ello se toma en consideración la comunicación por medio alámbricos e inalámbricos para los controladores y medios de fibra óptica para troncales de red.

Tercero, corresponde al diseño e implementación del sistema de control, el corazón del sistema de control es el controlador neuro-difuso ANFIS, para ello el controlador de semáforo cuenta con sensores por cada semáforo de tal modo que se pueda obtener el flujo vehicular por vía, la cantidad de tiempo libre por ciclo en verde y la temporización de los controladores, con estos parámetros se entrena el sistema ANFIS y se proyecta valores de temporización considerando flujo máximo y tiempo libre cero, El sistema de control cuenta con un sistema de supervisión control y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en ingles), el cual se encarga del control y monitoreo del sistema, con este SCADA se puede tener en línea el estado de cada uno de los controladores, configurarlos, verificar alarmas, etc. El presente proyecto está dividido en cuatro capítulos que se describen a continuación.

CAPÍTULO I: Se presenta el planteamiento del problema, en ella se describe la problemática del tráfico vehicular en la ciudad de Puno, se describe la justificación del problema y los objetivos planteados para solucionar el problema propuesto.

CAPÍTULO II: Se presenta el marco teórico que sustenta la presente investigación, lo cual está constituido por los antecedentes de la investigación, el sustento teórico, el glosario de términos básicos, las hipótesis, y la operacionalización del sistema de variables.

CAPÍTULO III: Presenta el diseño metodológico de investigación además se considera la población y muestra de estudio, los instrumentos y materiales de

investigación y el plan de tratamientos de datos y el desarrollo del experimento que inicia con el análisis del estado del arte referente al sistema de control semafórico existente, seguidamente se plantea los requerimientos del sistema, para que luego se proceda al diseño y la implementación del sistema, en donde se realiza la elección de elementos de control y la integración de los mismos.

CAPITULO IV: Presenta los resultados de la investigación, para ello se realizan tres simulaciones comparativa del sistema de control actual versus el nuevo sistema de control neuro-difuso ANFIS, con los resultados de estas simulación se realiza la prueba de la hipótesis referente a los parámetros que mejoran el flujo vehicular.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, el Perú ha tenido una época de bonanza económica, esta expansión trajo consigo un crecimiento económico exponencial y ocasionó que las familias tengan mayor capacidad de compra; las cuales decidieron gastar su excedente en vehículos para así tener una mejor calidad de vida y posicionarse en un mejor estado socioeconómico. Específicamente en la región Puno, para darnos una idea, en el 2016 ingresaron a la región Puno unos 14 mil vehículos de los cuales se registraron más de 8000 en la ciudad de Puno, de acuerdo con los reportes de la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP, 2016). A consecuencia de este incremento en el parque automotor de la ciudad se agudizo el problema de tránsito vehicular.

Podemos separar el problema de la congestión vehicular en tres grandes categorías: la cultura del conductor al manejar en la ciudad, la excesiva cantidad de automóviles y la falta de una adecuada distribución e infraestructura vial.

Para tratar de solucionar los primeros dos problemas mencionados líneas

arriba, se podría plantear políticas a implementar por los gobiernos locales y nacionales, tema que no se pretende plantear en el presente proyecto, lo que si se plantea es mejorar la infraestructura vial de la ciudad de Puno, más específicamente en el sistema de controladores de tráfico, localizados en las diferentes intersecciones de las vías de la ciudad, ya que en la actualidad se tiene un inadecuado control de los mismos porque son de temporización fija, no cuenta con sensores para la lectura del flujo vehicular, no están integrados en red y si ocurre algún falla no se generan reportes ni alarmas ya que no se cuenta con un sistema de monitoreo, todos estos factores hacen que la congestión vehicular se agrave.

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

El problema del sistema de control semafórico actual en la ciudad de Puno al funcionar con temporización fija, sin sensores para la recopilación de información del estado de tráfico, sin una red que los integre y monitoree su funcionamiento no soluciona la congestión vehicular. Ocasionando la demora en el flujo vehicular con la consecuencia de mayor pérdida de tiempo en viajes, contaminación ambiental, aumento del estrés de los conductores y pasajeros, entonces ¿Cómo se puede mejorar el sistema de control de tráfico vehicular en la ciudad de Puno a través del sistema de semaforización?

1.1.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

- a) ¿Qué capacidades debe de tener el controlador semafórico para mejorar el control del flujo vehicular a un bajo costo de implementación?

- b) ¿Qué tecnología se podrá emplearse para el diseño e implementación de una red de comunicación de los controladores?
- c) ¿Cuáles son los parámetros y estrategia de control para mejorar el flujo vehicular en la ciudad de Puno?

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El sistema que se pretende desarrollar en el presente proyecto permitirá mejorar la forma del control del tránsito vehicular en la ciudad de Puno, esto debido al desarrollo de un sistema de control de tráfico vehicular centralizado. Los semáforos que se encuentran en la intersección de las vías a controlar el tráfico, tendrán la capacidad de comunicación y por ende estar conectados en una red industrial y de esta forma pertenecer a un sistema de control centralizado, desde donde se podrá controlar y monitorear su funcionamiento.

El controlador de tráfico, es una de las partes importantes en el control de tránsito vehicular, desarrollarlo de una manera tal que su programación sea muy flexible y a la vez tenga la capacidad de comunicación con otros dispositivos de control lo convierte en un elemento eficiente de control del tráfico, sumado a ello los demás elementos como los semáforos vehiculares, contadores, semáforos peatonales y sensores de tránsito lo convierte en un elemento de control inteligente.

Un sistema centralizado ayuda a que un gestor se encargue de la constante verificación del estado de funcionamiento de los elementos del sistema de control, detectando posibles fallas en la operación de elementos integrados al sistema,

así como la posibilidad de mejorar el control global del sistema. Esto aplicado al control de tránsito vehicular lo hace realmente eficiente, puesto que se podría verificar en tiempo real el funcionamiento de cada uno de los controladores en una sola pantalla, de esta manera la solución a problemas de operación de los controladores se podrían solucionar de manera casi inmediata. A demás de lo anterior un sistema centralizado de tráfico podría mejorar el control del mismo, debido a que se podría registrar el flujo vehicular de las intersecciones, pudiendo tener estadísticas de las horas punta, cantidad de vehículos por hora, tiempos libres en cada ciclo de temporización, etc. Con esta información podríamos implementar sistemas modernos de control como lo son los controladores neuro-difuso y de esta forma optimizar los parámetros de temporización para el flujo vehicular.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de control y monitoreo de tráfico vehicular centralizado para mejorar el flujo vehicular en la ciudad de Puno.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Diseñar e Implementar un controlador de tráfico vehicular con capacidad de comunicación, que controle semáforos e integrar sensores para lectura de parámetros de flujo vehicular a un bajo costo de implementación.

- b) Definir y Diseñar una arquitectura de comunicación que garantice la interconexión de los controladores con el sistema de control de tráfico centralizado.

- c) Diseñar e implementar una estrategia de control y monitoreo del sistema de tráfico vehicular que utilice un controlador neuro-difuso para mejorar los parámetros de temporización.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Luego de haber realizado diversas indagaciones en busca de antecedentes de estudio sobre el tema, se pudo encontrar diversos tipos de trabajo relacionados con el presente trabajo de investigación los cuales nos sirven de punto de partida para nuestra investigación y son los siguientes:

El trabajo de investigación titulado “Método para obtener planes de tiempos de semáforos óptimos en intersecciones congestionadas” (ZARATE AIMA, 2009), realizado por el bachiller Ricardo Rafael Zarate Aima, en la Universidad Nacional de Ingeniería. El proyecto se enfoca los sistemas de tránsito vehicular, los cuales, en gran parte, se encuentran en una situación crítica en las principales ciudades del mundo, las cuales sufren de insuficiente capacidad vial frente a una demanda de tránsito cada vez más alta. Los efectos de esta congestión son el mayor consumo de combustible, mayores tiempos de viaje, mayor contaminación, entre otros. Se tiene como objetivo hallar un método y modelo para encontrar este sistema de control óptimo para redes viales fuertemente congestionadas haciendo uso de técnicas de investigación

operativa, algoritmos genéticos y aplicando algunos principios sistémicos. Se busca que tras la aplicación del método se pueda obtener planes de tiempo que funcionen de manera coordinada y permitan el paso de mayor flujo vehicular de manera flexible y para una gran cantidad de casos y bajo restricciones de los sistemas de tránsito reales. También se busca que el modelo propuesto sirva de base para enfocar problemas similares y para crear mejores métodos.

En el trabajo de investigación titulado “Diseño de un prototipo para controlar un semáforo inteligente usando tecnologías GSM/GPRS y Wireless” (REINOSO GARCÍA & TOCAIN VILLARRUEL, 2009), realizado por el bachiller Andy Rafael Reinoso García, en la Escuela Politécnica Nacional, Facultad De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica - Quito. El proyecto se enfoca en el diseño de un prototipo para controlar un semáforo inteligente usando GSM/GPRS y Wireless como tecnologías de comunicación y basado en Open Soft (Linux) como plataforma para el desarrollo de una aplicación gráfica que permita tener gestión y monitoreo sobre semáforos inteligentes. Se tiene como objetivo el desarrollo de un prototipo de controlador para un mejor control del flujo vehicular, para ello se recolecta información de una intersección como modelo de desarrollo, luego se realiza el estudio de flujo vehicular en dicho lugar, se tabulan los datos llegando a la conclusión de determinar los tiempos más adecuados para cada sentido de circulación. Seguidamente se plantea una arquitectura y funcionamiento de las tecnologías inalámbricas mencionadas en el título. Para finalmente desarrollar el prototipo y someterlo a las pruebas respectivas.

En el trabajo de fin de carrera titulado “Simulación y control de tráfico vehicular por semaforización” (JARAMILLO RAMÍREZ, 2005) realizado por los bachilleres: Daniel Jaramillo Ramírez en la Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías Facultad de Ingeniería Electrónica Medellín. Este proyecto plantea y argumenta el evidente mal uso de los semáforos por parte de las autoridades, por razones simples como la falta de sincronización, el funcionamiento bajo los mismos tiempos durante todo el día entre otras; además, el mal uso de las vías por parte de los ciudadanos, dada la constante indisciplina entre vehículos públicos, particulares livianos y de carga. Aparte de los planteamientos teóricos se ofrecen herramientas y posibles soluciones, utilizando Simulink, con la implementación de un simulador de bloques genérico para sistemas vehiculares de semáforos, por medio del cual, puede observarse el funcionamiento de cualquier conjunto de semáforos que sea configurado. Y finalmente, utilizando conocimientos de estadística, programación y control difuso, se proponen soluciones buscando un mejor rendimiento para el sistema de semáforos del Poblado, con la intención de hacer de ésta una herramienta de uso práctico en nuestra ciudad, gracias a la versatilidad ofrecida por Matlab sus herramientas y aplicaciones.

2.2 SUSTENTO TEÓRICO

2.4.1 TEORÍA DEL TRÁFICO

Los estudios sobre el tráfico existen desde la década de 1950 sin embargo hasta el momento no se ha logrado obtener una teoría general que sea satisfactoria para todos los casos y que pueda ser aplicada de manera consistente en el tráfico real.

2.4.1.1 VARIABLES IMPORTANTES

- Densidad: El número de vehículos por metro de vía. Solo se mide a lo largo de la vía. #vehículos / km.
- Flujo: El flujo de carros que pasan un punto específico en un tiempo dado, por ejemplo #vehículos/minuto
- Velocidad: Esta variable es la velocidad de los carros en una vía dada.
- Ocupancia: Se lo puede considerar como el porcentaje de la vía que está ocupada en un momento específico.

2.4.1.2 GRAFICO FUNDAMENTAL DE FLUJO VEHICULAR

Este gráfico es un intento por analizar cómo se relacionan las variables del tráfico de densidad, velocidad y flujo. El gráfico fundamental del flujo vehicular mostrado en la Figura 1, hace las siguientes afirmaciones:

- A mayor densidad vehicular se tiene menor velocidad media de los vehículos
- Para prevenir la congestión el número de vehículos que ingresa a la vía debe ser igual al número de vehículos que sale de esta.
- A cierta densidad crítica y cierta velocidad crítica el flujo de la vía pasara de ser estable a ser inestable
- Si un vehículo frena abruptamente en un flujo inestable se pasara a la congestión

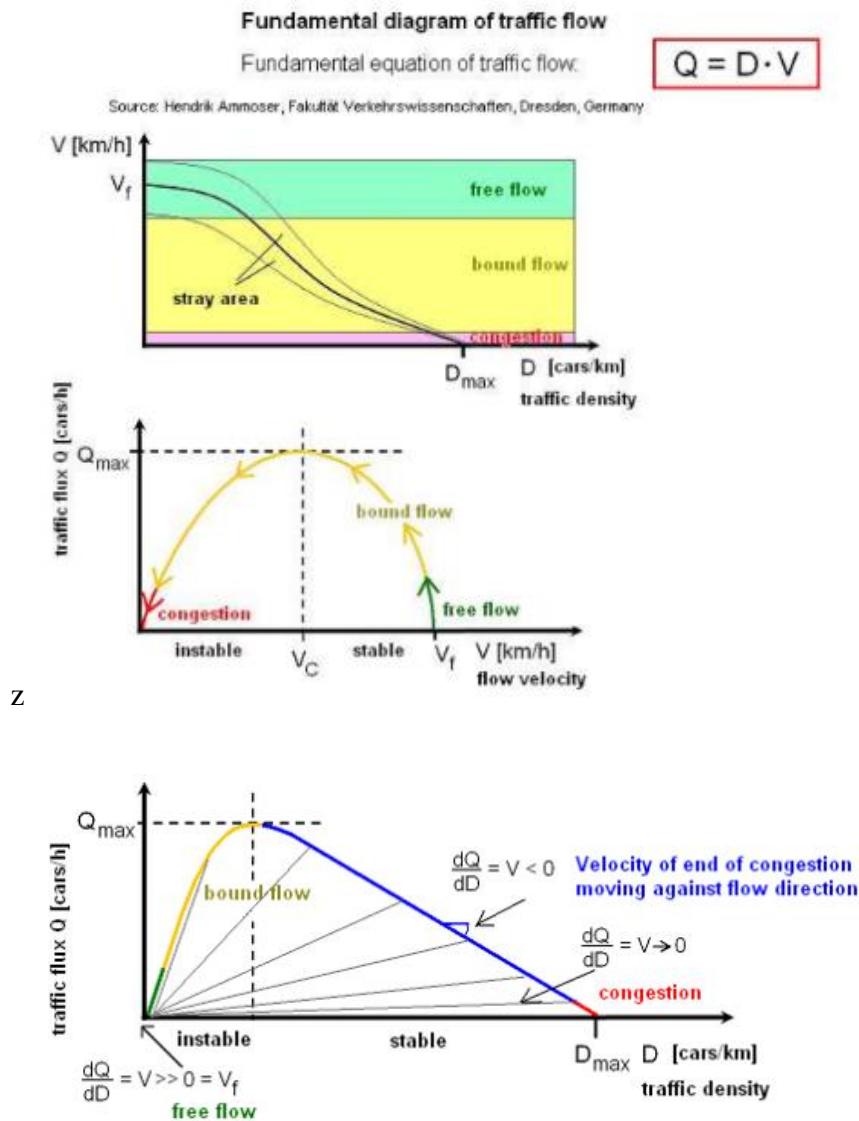
El gráfico fundamental considera 3 estados del tráfico en una vía:

- Flujo Libre: Los carros se mueven con libertad, pueden frenar sin

problemas. La velocidad media es alta y la densidad vehicular baja.

- Flujo Inestable: Este estado se caracteriza por velocidades medias, flujos relativamente mayores y densidades medias.
- Congestión: Este estado se caracteriza por un flujo bajo, altas densidades vehiculares y bajas velocidades medias.

Figura 1 : Diagrama Fundamental de Flujo Vehicular



V_f = "free velocity" - maximum velocity on free lane, selectable by the driver depending on car, skill etc.

V_C = "critical velocity" with maximum traffic flux (about 70...100 km/h)

Fuente: (REINOSO GARCÍA & TOCAIN VILLARRUEL, 2009)

2.4.1.3 CONGESTIÓN

La congestión vehicular es una condición de cualquier red o en específico de una red vial que se caracteriza por velocidades bajas, tiempos más largos de viaje, embotellamientos, entre otros. Por lo general se ocasiona cuando la demanda de usuarios de la red vial excede a la capacidad de la vía para servirlos rápidamente.

2.4.2 SISTEMAS DE CONTROL DE SEMÁFOROS

Debido a que la propuesta de este proyecto está dentro del campo de control semafórico se tiene la necesidad de explicar los sistemas de control de semáforos que se usan actualmente. Los sistemas de control de semáforos tienen como misión la de controlar los tiempos de los semáforos. Los objetivos de un sistema de control de semáforo son los siguientes:

- Maximizar el flujo vehicular total
- Disminuir la probabilidad de accidentes
- Ser equitativo en los tiempos de espera de los carros y peatones (No esperas excesivas)
- Considerar ambulancias y otros vehículos prioritarios

Estos objetivos son conflictivos entre sí, esto es lo que hace difícil el diseño de sistemas de control de semáforos. Existen varios tipos de sistemas de control. Los sistemas de control en la realidad pueden tener características de varios de estos sistemas. Se puede tener por ejemplo un sistema de control adaptativo y

coordinado entre varias intersecciones. La clasificación de sistemas de control es la siguiente:

2.4.2.1 DE TIEMPO FIJO

Este es el esquema más simple y es el más extendido en el mundo. Consiste en, mediante un estudio y análisis, cargar en el semáforo tiempos fijos para las luces, verdes y rojas dependiendo de la hora y cualquier consideración adicional, en la tabla 1 se muestra las ventajas y desventajas de este sistema.

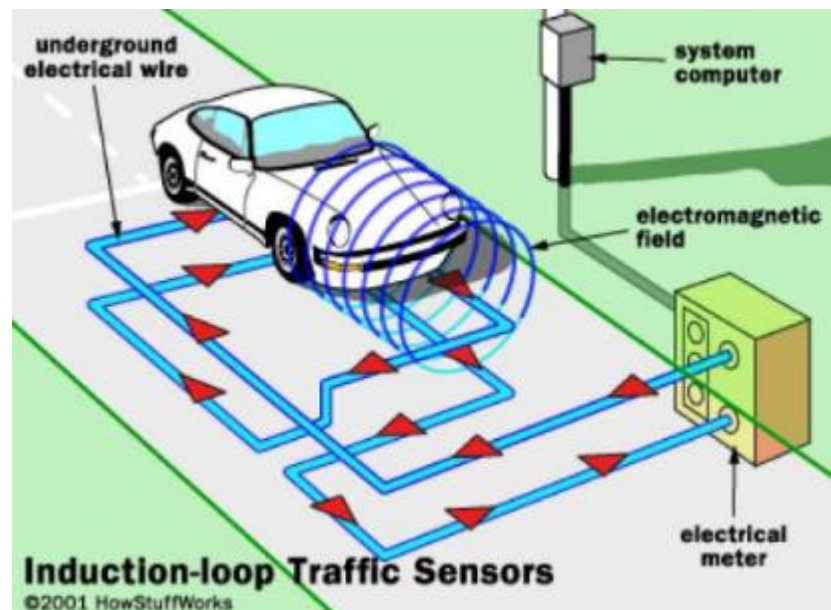
Tabla 1 : Ventajas y Desventajas Sistemas Tiempo Fijo

| Ventajas | Desventajas |
|-------------------|---|
| Probado | Requiere re calibración |
| Flexible / Simple | No optimiza el flujo vehicular |
| Equitativo | Puede agravar situaciones de congestión |

Elaboración: Propia

2.4.2.2 DINÁMICOS

Estos sistemas de control usan sensores para no dar luz verde a carriles vacíos. Son una mejora de otros sistemas y usualmente se usan en sistemas más avanzados con pocos problemas. Tienen la desventaja que algunas veces los sensores no sienten el paso de motos y vehículos pequeños, haciéndolos esperar indefinidamente.

Gráfico 1 : Sensores Inductivos de flujo vehicular

Fuente: (REINOSO GARCÍA & TOCAIN VILLARRUEL, 2009)

2.4.2.3 COORDINADOS

En este sistema de control se coordinan un grupo de semáforos con el objetivo de aumentar el flujo y la velocidad vehicular. Están basados en heurísticas. Son relativamente simples y están probados en la realidad con cierto éxito. El sistema coordinado más conocido y aplicado se conoce como OLA VERDE.

La Ola Verde es un esquema de control de semáforos que busca un sincronismo tal que los vehículos que circulan por ella siempre encuentran luz verde. Usualmente se usa ola verde en avenidas grandes y largas en las que se tienen altos flujos vehiculares, en la tabla 02 se muestra las ventajas y desventajas de este sistema.

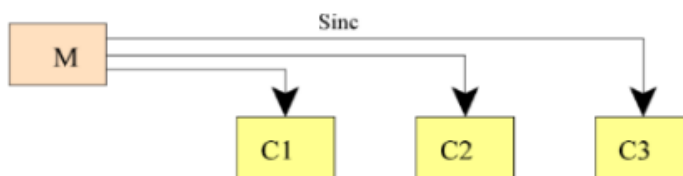
Tabla 2 : Ventajas y Desventajas Sistemas Coordinados

| Ventajas | Desventajas |
|----------------------------|--|
| Relativamente simples | No funciona en congestión |
| Altos flujos y velocidades | Requiere mecanismos de coordinación entre semáforos |
| Probado con mucho éxito | Mayos costo de instalación respecto a los de tiempo fijo |

Elaboración: Propia

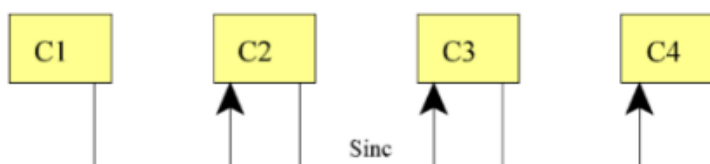
Para lograr la coordinación es necesario usar ciertos equipos de comunicación y esquemas como los mostrados en los gráficos 2 al 5.

Gráfico 2 : Esquema Maestro - Control Local



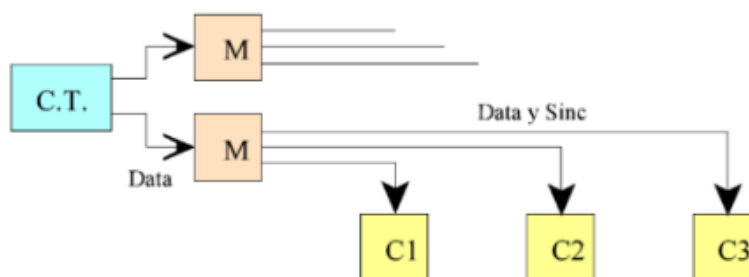
Elaboración: Propia

Gráfico 3 : Esquema en cadena

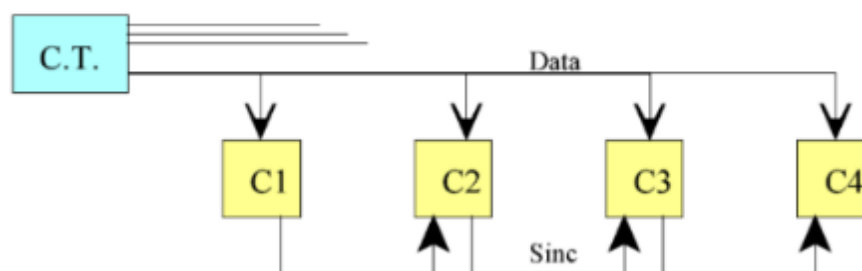


Elaboración: Propia

Gráfico 4 : Esquema central de tráfico, controles maestros y locales



Elaboración: Propia

Gráfico 5 : Esquema central de tráfico y controles encadenados*Elaboración: Propia*

2.4.2.4 ACTUADOS / SEMI-ACTUADOS

Estos sistemas de control utilizan sensores para variar el comportamiento de los semáforos de la intersección a la cual se relacionan. Así si en un sentido de la intersección se tiene un flujo mayor de vehículos, el sistema brindara mayor tiempo a ese sentido.

Ventajas

- Se adapta a condiciones de tráfico cambiantes
- Flujos mayores que con sistemas tradicionales

Desventajas

- No sirve en congestión
- Requiere sensores
- En ciertas condiciones son inferiores a los sistemas tradicionales

2.4.2.5 ADAPTATIVOS

Estos sistemas de control usan sensores con el objetivo de variar su comportamiento de acuerdo a la cantidad de vehículos por carril, la hora,

vehículos prioritarios y cualquier otro factor importante buscando por lo general lograr la optimización del flujo considerando que no haya tiempos de espera largos en los vehículos. Por lo general usan técnicas y heurísticas más complejas que los controles actuados

Ventajas

- Se adapta a condiciones de tráfico cambiantes
- Altos flujos en situaciones normales
- Pueden dar prioridad a ciertos vehículos

Desventajas

- Menores flujos en congestión
- Requiere sensores
- En ciertas condiciones no son mejores que los sistemas tradicionales
- Alto costo

2.4.2.6 SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE VEHÍCULOS

En el mercado existen una gran variedad de sensores para la detección de presencia de vehículos, a continuación se describe los más representativos.

Bucles de inducción

El método tradicional de detección de vehículos es el que se realiza mediante bucles de inducción insertados en la superficie de las rutas, sus bucles de inducción se utilizan en una amplia variedad de instalaciones, especialmente cuando se necesitan datos precisos de los vehículos.

Detección por video

La detección por video se basa en el procesamiento de imágenes en tiempo real que proporciona una amplia área de detección, muy adecuada para el registro de incidentes en carreteras y túneles. Conectada a los controladores de tráfico, la aplicación también puede usarse para la detección de vehículos en cruces señalizados donde sea difícil o costoso instalar bucles inductivos.

Detección por radar

La detección por radar se utiliza para detectar vehículos en movimiento dentro de un área de detección limitada. Está bien probada y es muy eficiente.

Detectores infrarrojos

Los sensores infrarrojos se usan con frecuencia para detectar vehículos detenidos y también peatones en los cruces peatonales.

Tecnologías combinadas

Los detectores instalados sobre el nivel del suelo que emplean distintas tecnologías de detección son especialmente útiles en carreteras y túneles para proporcionar, desde una sola ubicación, una amplia variedad de parámetros de detección precisos e información de clasificación.

2.4.3 TECNOLOGÍAS DE SIMULACION APLICADAS AL TRÁFICO

2.4.3.1 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR

La simulación por computadora es una herramienta cuyo fin es el estudiar el comportamiento de un sistema real dinámico y/o complejo en un ambiente

computacional que trata de simular el comportamiento del sistema real con cierto grado de exactitud. Su uso permite la solución de ciertos problemas que no podrían o son muy difíciles de ser estudiados de manera analítica. Usualmente se modelan sistemas de varias entidades o componentes cuyas interacciones individuales son bien comprendidas pero que, cuando se trata de analizar un sistema de muchos de estos componentes no se puede describir de forma lógica o matemática.

Entre sus varias aplicaciones se encuentran las siguientes:

- Evaluación de diferentes alternativas
- Prueba de nuevos diseños
- Como elemento dentro del diseño
- Dentro de otra herramienta
- Entrenamiento del personal
- Análisis de Seguridad Vehicular

Cuando debe ser usada:

- El sistema no se puede analizar matemáticamente
- Modelo matemático simplista o poco realista
- Situaciones de congestión prolongadas
- Para entender gráficamente cómo funciona el sistema (patrones de movimiento de carros, embotellamientos, etc.)

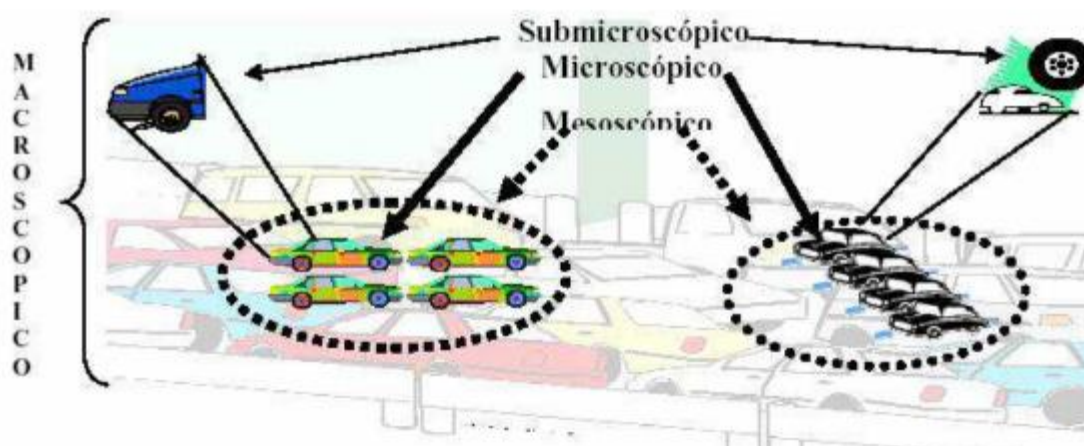
Podemos dividir de acuerdo a su nivel de detalle:

2.4.3.1.1 MICROSCÓPICO (ALTA FIDELIDAD)

Este enfoque describe a las entidades y sus interacciones con alto nivel de detalle. Usualmente representa a cada carro y semáforo individualmente y con muchas variables ligadas a este. Usa algoritmos de seguimiento de carros, cambios de carril, tipos de vehículos (buses, carros, bicicletas, etc.) entre otros. Los modelos microscópicos buscan describir el comportamiento de un ser humano al volante de un automóvil cuando es influenciado por los diferentes estímulos y obstáculos típicos de una vía. Es importante tener en cuenta, que si se describe el comportamiento de cada carro dentro de un sistema en todo momento, entonces podría simularse de manera casi perfecta el tráfico vehicular ya que todo lo que pase dentro del modelo sería predecible y modelable. En el gráfico 6 se muestra los diferentes modelos para la simulación

2.4.3.1.2 MESOSOPICA (MEDIANA FIDELIDAD)

Combina características de la simulación microscópica y macroscópica. Usualmente se basa en un modelo microscópico pero que trata de simplificar muchas de las interacciones basadas en heurísticas simples. Por ejemplo, no contemplan el algoritmo de cambio de carril, sino sencillamente tratan de equilibrar la cantidad de carros por carril.

Gráfico 6 : Modelos de Simulación del tráfico vehicular

Fuente: (GONZÁLES, 2003)

2.4.3.1.3 MACROSCÓPICA (BAJA FIDELIDAD)

Esta simulación representa al sistema con bajo nivel de detalle. Usualmente se usa cuando se requiere representar a un sistema grande donde la simulación microscópica no tendría tanta validez y sería muy pesada computacionalmente. Usualmente representa el flujo de manera agregada y no representa a los cambios de carril. Estos modelos tienen un enfoque muy diferente, pero buscan dar solución al mismo problema, los congestionamientos o exceso de tráfico vehicular. Los modelos macroscópicos no tienen en cuenta características específicas de los automóviles, y generalmente promedian todos los datos o variables cuyo comportamiento estadístico permite promediar. Buscan establecer análisis sobre volúmenes de tráfico, y dar respuestas bien aproximadas sobre los congestionamientos, las demoras, los tiempos promedio en el sistema, entre otras. Ha sido ya demostrado, que aproximaciones al flujo vehicular por modelos similares a los hidrodinámicos de primer o segundo orden, solo aportan pequeños detalles para la observación del tráfico. Se ha abordado también el tráfico vehicular de forma macroscópica, como un problema de

asignación dinámica de flujos, usando técnicas de optimización y control óptimo, no obstante, todo eso requiere en la práctica un comportamiento ideal y obediente de los usuarios de las vías.

Otra forma de clasificar a los simuladores es de acuerdo a sus interacciones:

2.4.3.1.4 DETERMINISTA

No se usan elementos al azar dentro de los cálculos de la simulación.

2.4.3.1.5 ESTOCÁSTICA

Se usan números al azar dentro de los cálculos de la simulación.

2.4.4 SISTEMA SCADA

2.4.4.1 DEFINICIÓN

SCADA proviene de las siglas Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Los sistemas SCADA son aplicaciones de software diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de procesos remotos.

Este tipo de sistema es diseñado para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de una organización, es decir, que permite la participación de otras áreas, como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Las tareas de supervisión y control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de éstas, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano.

Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Un término clave en la definición, al que muchas veces no se le da adecuada atención, es el de supervisión, que significa que un operador humano es el que al final tiene la última decisión sobre operaciones, usualmente críticas de un proceso industrial.

Los programas necesarios, y el hardware adicional que se necesite, se denominan en general sistema SCADA.

2.4.4.2 CONCEPTOS ASOCIADOS A UN SISTEMA SCADA

2.4.4.2.1 SISTEMA

Es un grupo de elementos que trabajan de manera conjunta para lograr un objetivo.

2.4.4.2.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Es un sistema cuyo fin primario es la recolección y procesamiento de datos para su posterior almacenamiento, despliegue, transmisión o manipulación matemática para la obtención de información adicional.

2.4.4.2.3 CONTROL

Es la acción de ejercer algún tipo de poder para obligar el comportamiento de cierto elemento con el fin de lograr un objetivo específico. Existen básicamente dos tipos de control industrial:

a. Control de lazo abierto

Es un sistema de control en donde la señal de salida no determina el valor de la señal de entrada, generalmente son sistemas temporizados.

b. Control de lazo cerrado

Es un sistema en donde la señal de salida se retroalimenta y afecta la señal de entrada con la intención de mantener una relación preestablecida entre la entrada y salida.

2.4.4.2.4 CONTROL SUPERVISORIO

Es un sistema en el que la información de diferentes parámetros dispersos se concentra en un lugar para su procesamiento y como criterio para ejecutar alguna acción de control. Se puede definir como el monitoreo y control de procesos. Las acciones de control se pueden clasificar de la siguiente forma:

a. Manual

El usuario decide 100% las acciones a ejecutar.

b. Semiautomático

Algunas actividades se realizan de manera automática y algunas se dejan a discreción del usuario.

c. Automático

Todas las acciones se ejecutan de manera automática.

2.4.4.2.5 SEÑAL ANALÓGICA

Está definida como aquella que es continua en el tiempo y que puede tener un valor cualquiera dentro de un rango definido; es generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo en función del tiempo.

2.4.4.2.6 SEÑAL DIGITAL

Está definida como aquella que solamente puede tener dos valores (1 ó 0) y es discreta en el tiempo.

2.4.4.2.7 TIEMPO REAL

Significa que un dispositivo de medida es capaz de mostrar el valor de una variable en el instante preciso en que la misma efectivamente tiene ese valor. Cuando se emplea computadoras, controladores o cualquier dispositivo que funciona en base a un programa de computación para procesar información de campo, aparece un desfase en el tiempo o un retardo, que puede incidir en la exactitud instantánea del valor mostrado. Esta falta de exactitud puede pasar desapercibida, particularmente en la medición de variables “lentas” o puede ser considerable si se trata de variables “rápidas”.

2.4.4.3 PRESTACIONES

Un SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.

- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas que modifican la ley de control, e incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómatas bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos.

2.4.4.4 REQUISITOS BÁSICOS

Existen diversos tipos de sistemas SCADA, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como, deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

2.4.4.5 FUNCIONES PRINCIPALES

Dentro de las funciones principales realizadas por el sistema SCADA están las siguientes:

a. Supervisión

El operador podrá observar desde el monitor la evolución de las variables de control, como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

b. Control

Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. El operador puede ejecutar acciones de control y podrá modificar la evolución del proceso en situaciones irregulares que se generen.

c. Adquisición de datos

Recolectar, procesar, almacenar y mostrar la información recibida en forma continua desde los equipos de campo.

d. Generación de reportes

Con los datos adquiridos se pueden generar representaciones gráficas, predicciones, control estadístico, gestión de la producción, gestión administrativa y financiera, etc.

e. Representación de señales de alarma

A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable, estas pueden ser tanto visuales como sonoras.

2.4.4.6 COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA

Se pueden ubicar a los componentes de un SCADA en dos grupos principales: Hardware y Software.

2.4.4.6.1 HARDWARE

Un sistema SCADA necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema para poder tratar y gestionar la información captada:

- Unidad terminal maestra (MTU).
- Unidad remota de telemetría (RTU).
- Red de comunicación.
- Instrumentación de campo.

a. Unidad terminal maestra (MTU)

La MTU es el computador principal del sistema, el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones; soporta una interfaz hombre-máquina. El sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único computador, el cual es la MTU que supervisa toda la estación.

b. Unidad remota de telemetría (RTU)

Una RTU es un dispositivo instalado en una localidad remota del sistema, está encargado de recopilar datos para luego ser transmitidos hacia la

MTU. Esta unidad está provista de canales de entrada para detección o medición de las variables de un proceso y de canales de salida para control o activación de alarmas y un puerto de comunicaciones; físicamente estos computadores son tipo armarios de control. Una tendencia actual es la de dotar a los Controladores Lógicos Programables (PLC's) la capacidad de funcionar como RTU.

c. Red de comunicación

El sistema de comunicación es el encargado de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el sistema SCADA, puede ser construida con cables o puede ser inalámbrica, haciendo uso de cualquier protocolo industrial existente en el mercado, como por ejemplo; CANbus, Fieldbus, Modbus, Ethernet, etc.

d. Instrumentación de campo

Los instrumentos de campo están constituidos por todos aquellos dispositivos que permiten tanto realizar la automatización o control del sistema (PLC's, controladores de procesos industriales, y actuadores en general) y son los encargados de la captación de información del sistema.

2.4.4.6.2 SOFTWARE

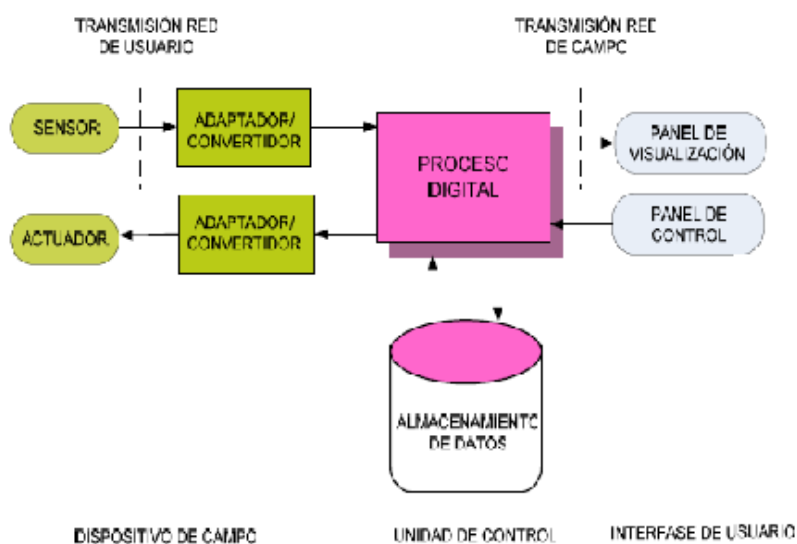
Es un programa que permite construir la interfaz humano-máquina (HMI, Human Machine Interface), debe ser capaz de restringir el acceso de las personas al sistema y generar señales de alarma en caso de fallas. Permite la comunicación tanto entre dispositivos de campo, como entre los niveles de supervisión, niveles gerenciales y administrativos. Ejemplos de este tipo de

programas son: INTOUCH, WINCC, LABVIEW, INFILINK, etc.

HMI puede ser una simple lámpara indicadora, o constar de un conjunto de pantallas donde se encuentra esquematizado gráficamente el proceso que se desea monitorear. En otras palabras, es el mecanismo que permite la interacción del ser humano con el proceso.

2.4.4.7 FLUJO DE INFORMACIÓN EN LOS SISTEMAS SCADA

Figura 2 : Esquema básico de un sistema SCADA



Fuente: (Infilink, 2017)

En un proceso automatizado intervienen numerosas variables de proceso; dependiendo del fenómeno físico que se observe (presión, temperatura, flujo, etc.), estos fenómenos físicos son captados por un transductor, el cual alimenta una señal eléctrica a un transmisor, el cual entrega una señal análoga eléctrica en forma de voltaje o corriente normalizada de 4 a 20 mA, o desde 0 a 10 VDC. Estas señales eléctricas deben ser procesadas para que puedan ser transmitidas mediante técnicas digitales y eventualmente entendidas por una computadora,

por lo que se necesita hacer una conversión de datos análogo/digital o viceversa, en la Figura 2 se muestra el esquema básico de un sistema Scada..

Luego todas las señales digitales se envían hacia un cuarto de control donde se reúne la información de toda la planta industrial. Simultáneamente se muestra la información en una pantalla de computador para que el operador pueda tomar decisiones; estos datos digitalizados son almacenados para su análisis, proporcionando así históricos para la toma de decisiones.

En aquellos lugares donde se debe manipular algunas variables durante el proceso de automatización y se encuentran distribuidas dentro de áreas extensas se requiere de una RTU, éste dispositivo permite concentrar la información de varios transductores/actuadores y luego son transmitidos hacia una estación maestra o MTU.

2.4.4.8 COMUNICACIONES

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, Buses de Intercambio de Propósito General (GPIB), telefónica o satélite, y es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, ésta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

2.4.4.8.1 TOPOLOGÍA DE LA RED

Se llama topologías de red a las diferentes estructuras de interconexión en que se pueden organizar las redes de transmisión de datos entre dispositivos. Cuando componentes de automatización autónomos tales como sensores, actuadores, autómatas programables, etc., intercambian información, estos deben interconectarse físicamente con una estructura determinada. Cada topología de red lleva asociada una topología física y una topología lógica. La primera (topología física), es la que define la estructura física de la red, es decir, la manera en la que debe estar dispuesto el cable de interconexión entre los elementos de la red. La topología lógica es un conjunto de reglas normalmente asociado a una topología física, que define el modo en el que se gestiona la transmisión de los datos. En la tabla 3 se muestra las principales topologías de red.

Tabla 3 : Topologías de RED

| TOPOLOGÍA | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------------------|---|
| Interconexión total y parcial | Múltiples enlaces entre los nodos de la red. Múltiples caminos de interconexión entre nodos. Si un nodo falla, la red no se ve afectada. |
| Interconexión en estrella | Cada nodo se conecta a un nodo central El nodo central se encarga del control de acceso a la red. Si el nodo central falla, la red falla en su totalidad. |
| Interconexión en bus | Todos los nodos están conectados a un único bus. Todos los nodos escuchan el mensaje presente en el bus. Si una estación falla, la red no se ve afectada. |

Continúa...

| | |
|-------------------------|--|
| Interconexión en árbol | Encadenamiento de diferentes estructuras en bus. Se establecen jerarquías de comunicación entre nodos. Si una estación falla, la red no se ve afectada. |
| Interconexión en anillo | Cada nodo se conecta en serie alrededor de un anillo. Los mensajes se transmiten en una dirección. El control de la red queda distribuido entre todos los nodos. |

Fuente: (REINOSO GARCÍA & TOCAIN VILLARRUEL, 2009)

2.4.4.8.2 BUSES DE CAMPO

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basado en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos. Los buses en la actualidad contemplan la posibilidad de integración del bus a una estructura de comunicaciones jerárquicamente superior e inferior así como a una estructura más potente para así enlazarlos diferentes niveles de la pirámide de automatización.

La característica básica para que una red de comunicación pueda denominarse como bus de campo es que permita intercambiar órdenes y datos entre productos de un mismo o de distintos fabricantes a través de un protocolo reconocido por cada uno de los nodos.

En la tabla 4 se puede apreciar una comparación entre los diferentes buses de campo y protocolos industriales teniendo en cuenta sus características como topología, soporte, velocidad y tipo de comunicación.

Tabla 4 : Buses de Campo

| NOMBRE | TOPOLOGÍA | SOPORTE | VELOCIDAD | COMUNICACIÓN |
|------------------------|--|--|---------------------|--|
| Profibus DP | Bus, estrella y anillo | Par trenzado, Fibra Óptica | 1.5 Mbps 12 Mbps | Master / Slave Peer to Peer |
| Profibus PA | Bus, estrella y anillo | Par trenzado, Fibra Óptica | 31.5 Kbps | Master / Slave Peer to Peer |
| Foundation Fieldbus H1 | Bus o estrella | Par trenzado, Fibra Óptica | 31.25 Kbps | Signal / Multi Master |
| Devicenet | Bus con Bifurcaciones | Par trenzado, Fibra Óptica | 500 Kbps | Master / Slave Multi-master, peer to peer |
| ASi | Bus, estrella, anillo y árbol | Par trenzado | 167 Kbps | Master / Slave |
| Modbus RTU | Bus, estrella, árbol y red con segmentos | Par trenzado, Coaxial, Radio | 1.2 a 115.2Kbps | Master / Slave |
| Ethernet Industrial | Bus, estrella y malla | Coaxial, Par trenzado, Fibra Óptica, Radio | 10, 100 Mbps | Master / Slave Peer to Peer |
| Hart | Lazo | Par trenzado | 1.2 Kbps | Master / Slave |

Fuente: (REINOSO GARCÍA & TOCAIN VILLARRUEL, 2009)

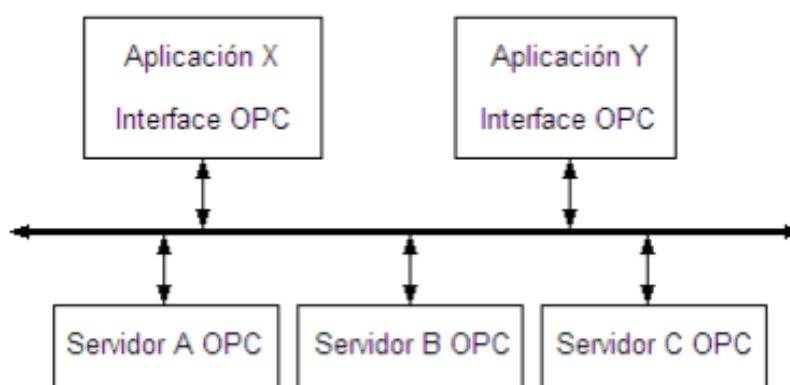
2.4.4.8.3 COMUNICACIÓN OPC

Actualmente los sistemas SCADA disponen de un tipo de comunicación que se ha convertido en un estándar a nivel internacional para transferir datos independientemente de la aplicación y del lenguaje de comunicación. Dicho estándar es el denominado OPC.

El OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos. Este estándar permite que diferentes fuentes envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con drivers para dialogar con múltiples fuentes de datos, basta que tengan un driver OPC.

Tiene como propósito cubrir las necesidades de acceso en forma estándar de las distintas aplicaciones hacia los dispositivos o base de datos. Es decir una aplicación X y una Y se podrían comunicar con distintos servidores A, B, C de diferentes protocolos de comunicación, siempre y cuando estos tengan interfaces OPC las cuales se les puede aprovechar para conectarlas con las aplicaciones, ver figura 3.

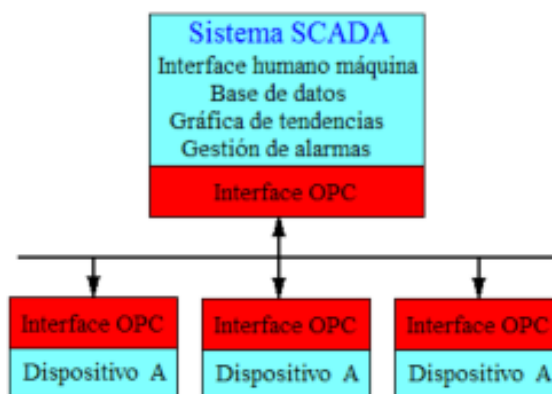
Figura 3 : Funcionamiento comunicación OPC



Fuente: (Infilink, 2017)

En la actualidad la mayoría de dispositivos controladores contienen drivers OPC, por tanto no es necesario adaptar los drivers ante nuevos dispositivos de otras marcas. La arquitectura OPC es de entorno heterogéneo, es decir integra equipos de distintos fabricantes y simplifica las comunicaciones.

Un cliente OPC se puede conectar a múltiples servidores OPC, tan solo direccionándolos. En la figura 4 se establece el sistema SCADA como cliente OPC y a los dispositivos como los Servidores OPC, ambos se pueden conectar aun teniendo diferentes protocolos de comunicación gracias a la comunicación OPC.

Figura 4 : Comunicación OPC en SCADA

Fuente: (Infilink, 2017)

Los elementos de la comunicación OPC son las siguientes:

a. El servidor

- Mantiene información sobre el servidor.
- Sirve como contenedor para objetos del grupo OPC.

b. El grupo

- Mantiene información sobre sí mismo.
- Provee mecanismos para contener/organizar lógicamente ítems.

c. El elemento

- Representan conexiones a fuentes de datos dentro de un servidor.

2.4.4.9 INFILINK

Infilink es un software Scada de fácil utilización para aplicaciones HMI de cualquier tamaño. Infilink HMI provee las herramientas para diseñar e implementar una interface personalizada para cualquier proceso. Infilink ofrece soluciones de interface para PLCs, transmisores, sensores, I/O remotas, y otros dispositivos de proceso. Infilink HMI funciona bajo Microsoft® Windows® 7, 8, 10 y Windows Server 2008 R2 y 2012

Estándares: Infilink es compatible con los estándares comunes de la industria para desarrollar aplicaciones que sean compatibles con cualquier formato. OPC (cliente y servidor), COM / DCOM, OLE y HTML

Idiomas: Infilink posee una gran cantidad de idiomas para crear la aplicación, incluyendo inglés, francés y español, o use herramientas de traducción para cambiar el tiempo de ejecución a cualquier idioma, incluso más allá de los idiomas soportados por el entorno de desarrollo. Infilink-HMI es compatible con todas las fuentes Unicode de Windows.

Seguridad: Infilink-HMI incluye soporte para cuentas de usuario con contraseñas y 256 niveles de acceso. Las contraseñas se pueden cambiar tanto en modo de diseño como de ejecución.

Soporte de notificaciones de alarmas: Notificación de alarma remota, Infilink puede enviar notificaciones de alarma a teléfonos móviles y dispositivos por correo electrónico; Información en tiempo real sobre alarmas, valores de proceso y otros eventos. Infilink-HMI soporta cifrado SSL que permite el uso de proveedores de correo electrónico como Gmail y Yahoo.

Eventos: Infilink-HMI ofrece trazabilidad para las acciones iniciadas por el operador o las actividades internas del sistema. Registrar eventos como cambios en el sistema de seguridad (inicio de sesión o desactivación del usuario), abrir / cerrar la pantalla, avisos alarma del sistema y cualquier cambio en el valor de tags, incluidos mensajes personalizados.

Reportes: Infilink puede crear informes claros y concisos en texto sin formato, DBF y CSV e integrarlos con programas de Microsoft Office como Excel,

en el gráfico 7 se muestra una pantalla de edición en Infilink.

Gráfico 7 : Pantalla de edición de Infilink



Fuente: (Infilink, 2017)

2.4.5 LOGICA DIFUSA

2.4.5.1 INTRODUCCIÓN A LA LÓGICA DIFUSA

La inteligencia artificial se está convirtiendo en el eje principal del avance de la tecnología. Esto lo evidencia la existencia de una de sus ramas, la Lógica Difusa, que desde sus inicios en 1965, (La Lógica Difusa fue creada por Lotfi A. Zadeh, profesor de ciencia de computadoras en la Universidad de California en Berkeley) y especialmente en los últimos años, se ha constituido en una herramienta importante en el desarrollo de sistemas que impliquen razonamiento humano, control de procesos industriales y manejo de incertidumbre. Por ejemplo, los controladores automáticos basados en reglas para la industria, reconocimiento de patrones, diagnóstico médico, entre otros.

Lotfi Zadeh, para crear la Lógica Difusa, se fundamentó en el principio de que las matemáticas pueden ser usadas para encadenar el lenguaje con la inteligencia humana. Algunos conceptos pueden ser mejor definidos en términos de palabras, que por matemáticas; la Lógica Difusa y su expresión en conjuntos difusos, constituyen una disciplina que puede construir mejores modelos de la realidad.

La Lógica Difusa se puede ver como un sistema matemático que modela funciones no lineales; convirtiendo unas entradas en salidas acordes con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado. Además, se fundamenta en los denominados conjuntos difusos, y en un sistema de inferencia difuso basado en reglas de la forma " SI... ENTONCES... ", donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente, están definidos por conjuntos difusos; es así como las reglas siempre convierten un conjunto difusos en otro.

En si ¿qué es la Lógica Difusa? La Lógica Difusa es una rama de la inteligencia artificial con la que se puede manejar información vaga o de difícil especificación, si se quiere hacer cambiar con esta información, el funcionamiento o el estado de un sistema específico. Ya visto de este modo, entonces se puede definir, como un sistema matemático que permite representar el grado de verdad o veracidad de las proposiciones. Por ejemplo, la proposición: "Un hombre alto"; puede ser 100% verdad, si la estatura sobrepasa los 2.0 mtrs; 70% verdad, si está entre 1.80 y 1.90 mtrs.; 40% verdad, si está entre 1.75 y 1.80mtrs y 0%, si es menor de 1.75mtrs.

¿En qué se aplica? La Lógica Difusa (Fuzzy Logic) ha surgido como una herramienta lucrativa para el control de subsistemas y procesos industriales complejos; así como también para la electrónica de entretenimiento, para el hogar, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos. Las primeras aplicaciones de la teoría difusa fueron principalmente industriales, tales como el control de procesos en cementeras. Más tarde en 1987, se puso en funcionamiento en Sendai, al Norte del Japón, el primer “Metro” controlado mediante Lógica Difusa. Los controladores basados en esta lógica, hicieron mucho más confortables los viajes en Metro, gracias a las suaves frenadas y aceleraciones. En efecto, todo lo que debe hacer el conductor es apretar el pulsador de marcha.

El empleo del control difuso es recomendable:

- Para procesos muy complejos, cuando no hay un modelo matemático simple.
- Para procesos altamente no lineales.
- Si el procesamiento del (lingüísticamente formulado) conocimiento experto puede ser desempeñado.

El empleo del control difuso no es una buena idea si:

- El control convencional teóricamente rinde un resultado satisfactorio.
- Existe un modelo matemático fácilmente soluble y adecuado.
- El problema no es soluble.

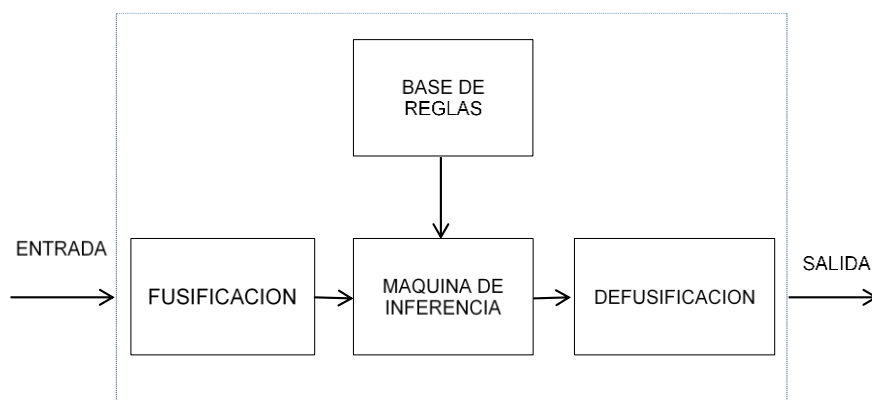
¿Para qué se utiliza Lógica Difusa? La Lógica Difusa es muy utilizada en controladores utilizados en aplicaciones incluyendo refrigeradores, lavadoras, cámaras y robots, diagnóstico, procesamiento de imágenes, clasificación de

patrones, problemas de tráfico, planeación de proyectos, detección de fraudes y en conjunción con redes neuronales y sistemas expertos.

2.4.5.2 SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA

Los sistemas de Lógica Difusa, están constituidos por cuatro fases, (Fusificación, Base de Reglas, Máquina de Inferencia, Defusificación. Ver Figura 5) las cuales trabajando conjuntamente reciben, una o varias entradas numéricas, y arrojan una o varias salidas numéricas. En los sistemas de Lógica Difusa las entradas y salidas están representadas por Variables Lingüísticas, las cuales a su vez tienen atributos representados por Conjuntos Difusos.

Figura 5 : Estructura de un sistema de Lógica Difusa



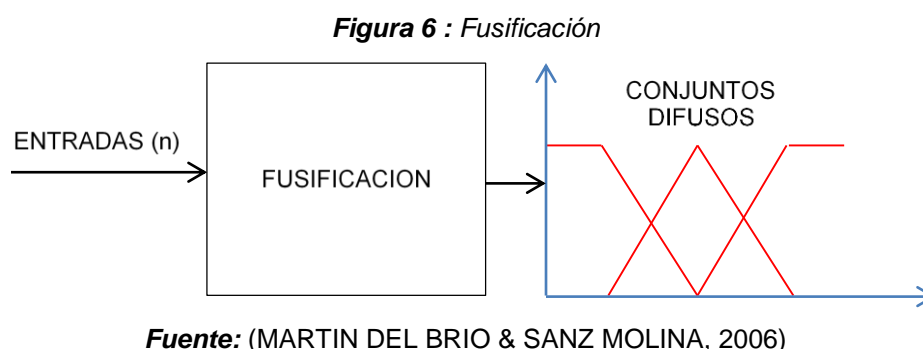
Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Como se mencionó anteriormente, un Sistema de Lógica Difusa recibe varias entradas; estas entradas van hacia la fase de Fusificación, la cual convierte las entradas en Conjuntos Difusos para ser entregados a la fase de Máquina de Inferencia, la cual se sirve de un conjunto de reglas de tipo IF...THEN que se encuentran almacenadas en el bloque de Base de Reglas para producir varios Conjuntos Difusos, que son enviados a la fase de Defusificación, cuya fase toma los conjuntos y los convierte en una serie de salidas numéricas o concretas.

Para más claridad, a continuación se hará una explicación de cada una de las fases de un sistema de Lógica Difusa.

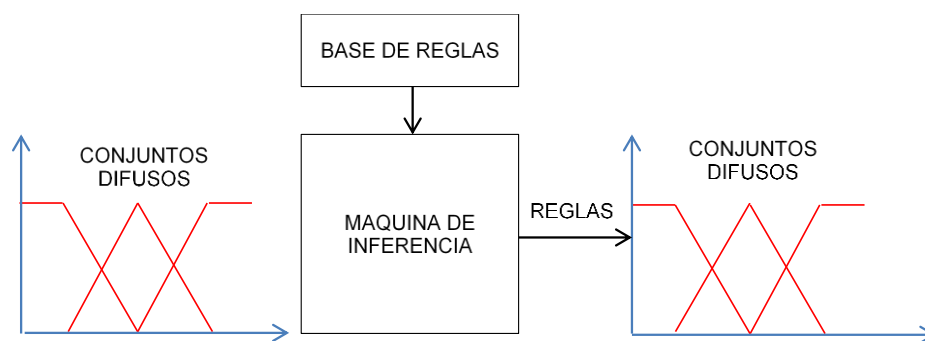
2.4.5.2.1 FASE DE FUSIFICACIÓN

Esta fase recibe las múltiples entradas numéricas que llegan al Sistema de Lógica Difusa, y produce un Conjunto Difuso por cada una de ellas. (Ver Figura 6). Cada Conjunto Difuso producido por esta fase, está definido sobre el Universo de Discurso de una determinada Variable Lingüística, y permanece centrado en el valor numérico de entrada, teniendo una función de pertenencia cuya forma puede ser distinta para cada variable de entrada.



2.4.5.2.2 MÁQUINA DE INFERENCIA

La Máquina de Inferencia, recibe "n" Conjuntos Difusos producidos por la fase de Fusificación, y los aplica a cada una de las m reglas de la Base de Reglas, para producir un Conjunto Difuso por cada variable de salida en cada una de las reglas definidas sobre los Universos de Discurso de las Variables Lingüísticas de salida (Ver Figura 7).

Figura 7 : Maquina de inferencia

Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Es importante aclarar, que los Conjuntos Difusos que representan las salidas de cada regla, son combinados en un único Conjunto Difuso.

2.4.5.2.3 BASE DE REGLAS

La base de reglas es un conjunto de "m" reglas, cada una de las cuales es de la forma:

IF (Antecedente) THEN (Consecuente).

En cada regla pueden distinguirse dos partes: el Antecedente y el Consecuente; de tal forma las reglas puede escribirse como:

IF

X_1 es A_1 AND X_2 es A_2 AND... AND X_m es A_m

THEN

Y_1 es B_1 AND Y_2 es B_2 AND... AND Y_n es B_n

En estas reglas, $A_1, A_2, \dots, A_m, B_1, B_2, \dots, B_n$ son Valores Lingüísticos de las Variables Lingüísticas respectivas.

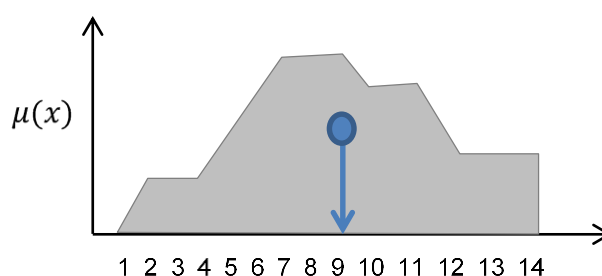
2.4.5.2.4 FASE DE DEFUSIFICACIÓN

Esta fase, recibe los Conjuntos Difusos generados por la Máquina de Inferencia, y produce “n” valores numéricos o concretos correspondientes a cada una de las Variables de Salida del Sistema de Lógica Difusa. En general, para producir cada uno de estos “n” valores, la fase de Defusificación toma los Conjuntos Difusos correspondientes a cada Variable de Salida, y mediante ciertos métodos de Defusificación se obtiene el valor numérico.

Cada método de Defusificación se encuentra definido por diferentes ecuaciones, las cuales suponen que el Motor de Inferencia produce “m” Conjuntos Difusos para la Variable de Salida en cuestión, que está definida sobre un Universo de Discurso U; cada uno de los “m” conjuntos tiene una función de pertenencia $\mu_{B_i}(y)$, $i=1,2,..m$. Si el Defusificador efectúa la Unión o la Intersección de los “m” conjuntos, el resultado es un Conjunto Difuso B que tiene función de pertenencia $\mu_B(y)$.

Centroide (Cetro de Gravedad o Centro de Áreas). Con este método se calcula el punto central (promedio entre las áreas que conforman una región) en la región difusa. Ver Figura 8.

Figura 8 : Método del centroide



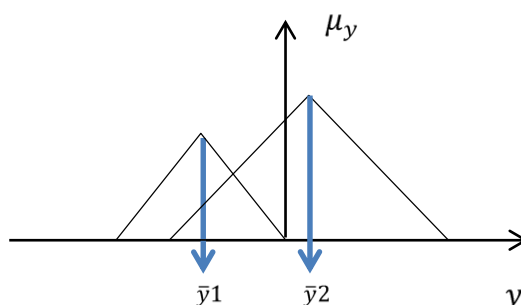
Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

$$\bar{y} = \frac{\int_S y \mu_B(y) dy}{\int_S \mu_B(y) dy} \quad \dots(\text{Ec } 01)$$

Donde μ_B es la función de pertenencia del conjunto de salida Y, cuya variable de salida es y. S es el dominio o rango de integración

Método de la altura. Este método de defusificación, es válido únicamente para el caso donde la salida de la función de membresía, es el resultado de una unión agregada o de funciones simétricas. (Ver Figura 9).

Figura 9 : Método de altura



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

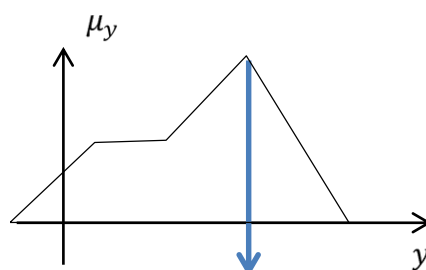
$$y_h = \frac{\sum_I \bar{y}^I \mu_{B^I}(\bar{y}^I)}{\sum_I \mu_{B^I}(\bar{y}^I)} \quad \dots(\text{Ec } 02)$$

$$\bar{y}^I = \text{centro_altura}(i) \quad \dots(\text{Ec } 03)$$

Centro_Altura (i) es un parámetro del Conjunto Difuso de la Variable de Salida, que corresponde al Consecuente de la regla i; dicho parámetro intenta representar el centro del Conjunto Difuso.

Método de los Máximos. Con este método se toma el valor fijo que corresponde al único punto pico de la función de membresía. (Ver Figura 2-10).

Figura 10 : Método de los máximos

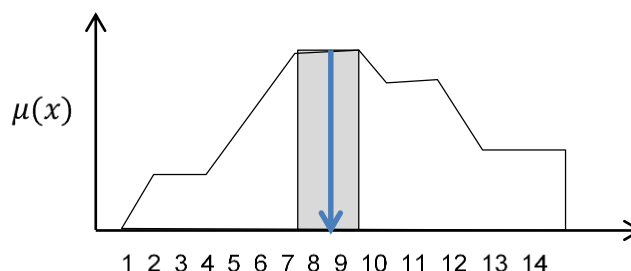


Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

$$\bar{y} = \inf_{y \in U} \{y \in U | \mu(y) = \sup \mu_B(y)\} \quad \dots(\text{Ec } 04)$$

Método del valor promedio de los valores máximos. Con este método se toma el valor promedio de los valores máximos de la región difusa. (Ver Figura 11).

Figura 11 : Método del valor promedio de los valores máximos

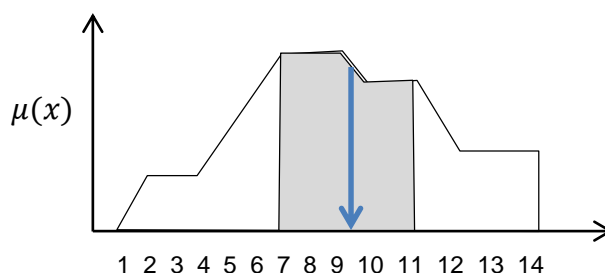


Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

$$\bar{y}2 = \sup_{y \in U} \{y \in U | \mu(y) = \sup \mu_B(y)\} \quad \dots(\text{Ec } 05)$$

El Centro de máximos. Este método encuentra las dos mesetas más altas dentro de la región difusa, y calcula el promedio entre estas. (Ver Figura 12).

Figura 12 : Método del centro de maximos



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

$$\bar{y}1 = \inf_{y \in U} \{y \in U | \mu(y) = \sup \mu_B(y)\} \quad \dots(\text{Ec } 06)$$

$$\bar{y}2 = \sup_{y \in U} \{y \in U | \mu(y) = \sup \mu_B(y)\} \quad \dots(\text{Ec } 07)$$

$$\bar{y} = \frac{(\bar{y}1 + \bar{y}2)}{2} \quad \dots(\text{Ec } 08)$$

2.4.6 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

2.4.6.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES NEURONALES

En estos tiempos, donde aflora en los seres humanos una mentalidad perfeccionista, pretendiéndose optimizarlo todo, adquiere inusitada trascendencia el empleo de las Redes Neuronales Artificiales en todos los campos de la vida moderna; ya que estas posibilitan la reproducción de algunas de las flexibilidades y potencialidades del cerebro humano por medios artificiales.

Ahora bien, con el empleo de las Redes Neuronales Artificiales, sigue siendo necesario indicar los pasos a seguir, pero con la diferencia de que no es necesario contemplar todas las opciones posibles; basta con tomar, por así decirlo, las muestras o patrones más significativos, para que el sistema funcione, y en caso de que se presente alguna opción no contemplada, dicho sistema pueda "generalizar" y "reconocer" la opción dada. Dicho en otras palabras, el

sistema es capaz de aprender sobre la experiencia, haciendo de alguna manera, más "independiente". A continuación se muestran algunas de las aplicaciones existentes:

Negocios.

- Mercadeo.

Procesamiento de formas y documentos.

- Reconocimiento de caracteres impresos en máquina.
- Reconocimiento de caracteres impresos a mano.
- Reconocimiento de gráficos.
- Reconocimiento de caracteres cursivos escritos a mano.

Industria alimenticia.

- Análisis de aromas.
- Desarrollo de productos.

Industria financiera.

- Detección de fraudes.
- Manejo de créditos.

Industria de la energía.

- Operación de centrales hidroeléctricas.
- Obtención de gas natural.

Manufactura.

- Control de Procesos.
- Control de calidad.

Industria médica y del cuidado de la salud.

- Análisis de imágenes.

- Elaboración y detección de drogas.

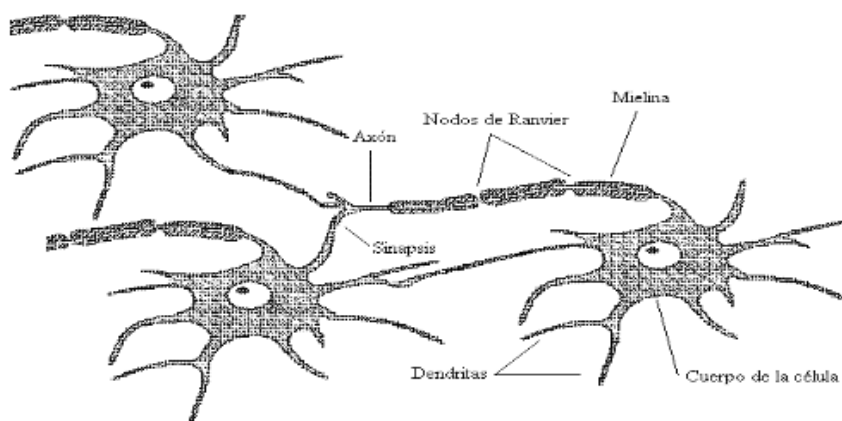
Ciencia e Ingeniería.

- Ingeniería química.
- Ingeniería eléctrica.

2.4.6.2 ¿QUÉ ES UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL?

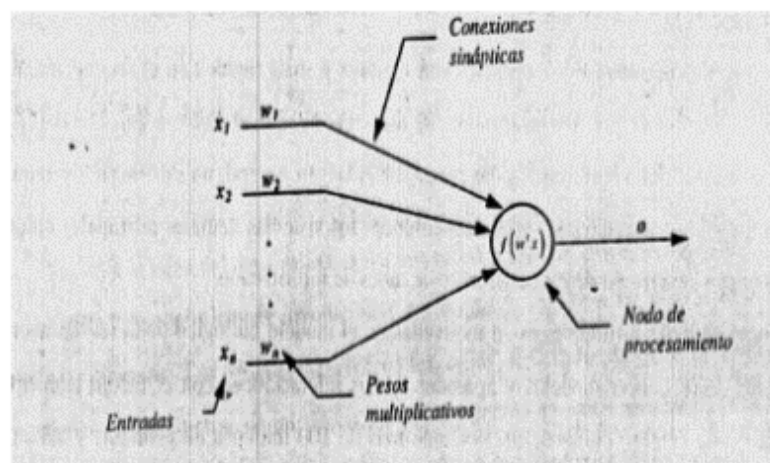
Una Red Neuronal Artificial, "intenta ser" la representación matemática de una Red Neuronal Biológica. (Ver gráfico 8)

Gráfico 8 : Redes Neuronal Biológica



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Se dice que, intenta ser, porque dada la complejidad, todavía no resuelta, del funcionamiento del cerebro humano, ya que el conocimiento sobre éste es aun limitado, apenas se ha logrado realizar una emulación de dicho funcionamiento. El modelo de una Neurona Artificial consta básicamente de unas conexiones de entradas ponderadas, una unidad de procesamiento y una salida. (Véase el gráfico 9). El aprendizaje de la red se refleja en un cambio en la ponderación de las entradas, llevado a cabo según alguna regla del conjunto de reglas posibles.

Gráfico 9 : Neurona Artificial

Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

En general existe un conjunto de valores de entrada para los cuales la red debe responder según las salidas deseadas o valores de la señal maestra. El aprendizaje puede requerir de varias iteraciones de entrenamiento, que sucesivamente van modificando los pesos, adecuándolos a las necesidades hasta alcanzar un comportamiento óptimo para el conjunto de entrada.

La habilidad de una Red Neuronal de realizar computaciones, se basa en el hecho de que es posible reproducir algunas de las flexibilidades y de la potencia del cerebro humano por medios artificiales. Es de esta forma, que la Red Neuronal Artificial, como una estructura matemática flexible, es capaz de identificar relaciones no lineales entre las entradas y salidas de un determinado conjunto.

La definición más simple de una Red Neuronal, que más hace referencia a una Red Neuronal Artificial, es provista por el inventor de una de las primeras Neuro- computadoras, el Dr. Robert Hecht-Nielsen. Él define una Red Neuronal como:

"...un sistema computacional hecho por un alto número de simples elementos procesadores, pero altamente interconectados, los cuales procesan la información por la respuesta en estado dinámico de entradas externas" (ALTROCK, 1995)

Dos conceptos mencionados en las definiciones anteriores, y que serán utilizados a lo largo de este trabajo son:

Pesos: Es una magnitud que indica la fuerza que tiene la conexión entre dos neuronas o elementos procesadores, dicha magnitud funciona como un factor determinante para definir la excitación o inhibición de la neurona.

Conexiones: Son las uniones entre una o más neuronas, las cuales indican la relación existente entre ambas, y tiene que ver con la definición de los pesos. Se dice que es la unión entre una o más neuronas porque una neurona puede recibir entradas provenientes de ella misma a manera de realimentación.

Las Redes Neuronales Artificiales, son entonces dispositivos procesadores (algoritmos o hardware), que tratan de modelar la estructura de la corteza cerebral animal, pero en mucho menor escala. Una Red Neuronal Artificial grande puede tener cientos o miles de unidades procesadoras, mientras que el cerebro animal, tiene billones de neuronas con su respectivo incremento en magnitud debido a la interacción y al comportamiento.

Nota: Existen una variedad de arquitecturas de redes que se pueden implementar, entre las cuales encontramos: Perceptron, Adeline (MLS), BackPropagation, Kohonen, entre otras.

2.4.6.3 TIPOS DE APRENDIZAJES

Reglas correlacionales.

- Aprendizaje de tipo no supervisado.
- Aprendizaje de tipo supervisado

Regla de Hebb

Toda la información necesaria para el aprendizaje la transporta la propia señal de entrada.

$$W_{ij}(t + \Delta t) = w_{ij}(t) + Ir. x_i(t). y_j(t) \quad \dots(\text{Ec } 09)$$

A veces se utiliza la variante de la regla de Hebb en la que se acota la subida creciente de los pesos en cada ciclo del aprendizaje. Se introduce un factor de olvido en la red.

$$W_{ij}(t + \Delta t) = w_{ij}(t) + Ir. x_i(t). y_j(t) - dr. w_{ij}(t) \quad \dots \quad (\text{Ec } 10)$$

Aprendizaje Asociativo (Redes Asociativas)

- Se utiliza la regla de Hebb.
- Se trata de descubrir coincidencias o agrupaciones implícitas en los datos de entrada de la red.
- De esta forma:
 - a) Se disminuye la dimensionalidad del espacio de entrada.
 - b) Se extraen características de los datos de entrada.

Aprendizaje Competitivo (Redes de inhibición lateral)

- Primero se calcula cuál es la neurona cuyo peso está más cerca del vector de entrada.

$$Distancia(w_{ij}, x_i) = \text{minima} \quad \dots(\text{Ec } 11)$$

- Para esta neurona es para la única que se modifica el peso (las demás permanecen igual).

$$W_{ij}(t + \Delta t) = w_{ij}(t) + Ir \cdot y_i(t) \cdot (x_i(t) - w_{ij}(t)) \quad \dots(\text{Ec } 12)$$

- Su función es detectar contrastes.

Minimización de una función del error (Back Propagation)

- Aprendizaje supervisado.
- Se trata de evaluar lo adecuado o inadecuado de una respuesta a un estímulo; para ello se necesita conocer la respuesta deseada.
- Se utiliza una función del error para modificar los pesos o bien una función del error cuadrático medio si sólo se sabe el error global de salida de la red.

$$e(t) = d_j(t) - y_j(t) \quad \dots(\text{Ec } 13)$$

$$E = 1 / 2 \sum (d_j - y_j)^2 \quad \dots(\text{Ec } 14)$$

- Para seleccionar el conjunto de entrenamiento se debe usar todo el conocimiento disponible sobre el problema a resolver.
- Para el caso de que se conozcan todas las respuestas deseadas para cada neurona:

$$W_{ij}(t + \Delta t) = w_{ij}(t) + Ir \cdot (d_j(t) - y_j(t)) \cdot x_i(t) \quad \dots(\text{Ec } 15)$$

- Para el caso de que sólo se conozca la respuesta deseada para toda la red, se debe aplicar la retropropagación del error hacia atrás,

pasando la parte del error correspondiente a cada capa de neuronas.

$$\Delta W = -a. (JE(w)/Jw) \quad \dots(\text{Ec } 16)$$

- En este caso, primero se calcula la modificación de los pesos para la última capa (capa de salida) y luego se retropropaga el error a la capa anterior y así sucesivamente.

2.4.7 SISTEMAS NEURO-DIFUSOS

2.4.7.1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS NEURO-DIFUSOS

El avance de los sistemas de Inteligencia Computacional y la búsqueda de soluciones cada vez más completas para los problemas que pueden ser resueltos por estos métodos, han llevado a la unión de técnicas de software. Esto resulta ser una fuerte motivación para realizar la unión de las técnicas de Redes Neuronales Artificiales y Lógica Difusa. En la Tabla 5 se pueden observar las similitudes y diferencias entre estas dos técnicas.

Existen motivaciones para crear los sistemas híbridos neurodifusos, entre estos los siguientes:

- a. Los problemas a resolver con estas técnicas inteligentes tienen generalmente una componente de datos empíricos y otra de conocimiento previo, que con los sistemas neurodifusos pueden resolverse aprovechando los métodos cuantitativos y cualitativos de las RNA y la LD respectivamente.
- b. La expresión de conocimiento como una base de reglas lingüísticas,

enriquecida o surgida con o a través de datos cuantitativos, es una forma adecuada para hacer realimentación al usuario humano de la forma como el sistema realiza las tareas.

- c. Habiendo encontrado que la representación del conocimiento como un Sistema Difuso se acerca a la forma de razonamiento humana, es natural intentar adicionar a estos Sistemas capacidades de aprendizaje, de forma que se emule mejor tal comportamiento o que se mejoren los resultados obtenidos con el sólo Sistema Difuso.

Tabla 5 : Diferencias y Similitudes entre las RNA y LD.

| | RNA | Lógica Difusa |
|--|--|---|
| Paralelismo | Bueno | Bueno |
| Dominio | Continuo | Continuo |
| Linealidad | No lineal | No lineal |
| Base de Conocimiento | Distribuida en pesos | Distribuida en Base de Reglas |
| Método de Solución | Matemática mediante propagación de la información de entrada | Razonamiento sobre la Base de Reglas |
| Representación del conocimiento | Numérica | Lingüística |
| Conocimiento explotado | Datos empíricos | Conocimiento humano previo |
| Capacidad de aprendizaje | Alta | No tiene - Es una forma lógica de tratamiento matemático. |

Fuente: (ALTROCK, 1995)

2.4.7.2 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS NEURO-DIFUSOS

La estructura Neuro-Difusa permite el uso de métodos cualitativos y

cuantitativos en la construcción de modelos, en la etapa de aprendizaje, en la de funcionamiento y en la realimentación de conocimiento al usuario, permitiendo así, todo el conocimiento disponible. Los métodos cuantitativos se observan en el aprendizaje que los sistemas Neuro-Difusos pueden realizar a partir de datos del ambiente y en su forma matemática de funcionamiento, mientras que los métodos cualitativos se reflejan en el sentido lingüístico que tiene la base de conocimiento de los sistemas difusos y generan una interacción sistema-hombre, permitiendo la introducción de conocimiento previo al sistema y la realimentación del estado final del modelo en forma de reglas expresadas lingüísticamente desde el sistema al hombre. Las otras ventajas, son las conocidas ya ampliamente y que vienen heredadas de los Sistemas Difusos y de las RNA, tales como interpretación lingüística, introducción de conocimiento previo, autoaprendizaje, generalización, interpolación, etc.

2.4.7.3 MODELOS DE SISTEMAS NEURO-DIFUSOS

Se sabe que los Sistemas Neuro-Difusos resultan de la fusión entre las Redes Neuronales Artificiales y la Lógica Difusa. Por tanto existen varias combinaciones entre estas técnicas que a continuación se mencionan:

- a. **Modelos Concurrentes:** Cuando la RNA y el Sistema Difuso trabajan juntos pero sin interactuar el uno en el otro, es decir, ninguno determina las características del otro.
- b. **Modelos Cooperativos:** Cuando la RNA se usa para determinar los parámetros de funcionamiento del Sistema Difuso. En estos modelos, se distinguen dos fases: la de Entrenamiento y la de Funcionamiento.

En la primera, la RNA interactúa con el Sistema Difuso determinando los parámetros del mismo, mientras en la segunda, la RNA desaparece dejando sólo el Sistema Difuso. Un ejemplo de estos sistemas puede ser la determinación de parámetros de Control de un Sistema Difuso, etc.

- c. **Modelos Híbridos:** En esta aproximación, los Sistemas Difusos y de RNA, trabajan juntos en una arquitectura homogénea que puede ser interpretada como una RNA con parámetros Difusos o como un Sistema Difuso con parámetros o funcionamiento distribuidos.

2.4.7.4 SISTEMAS NEURO-DIFUSO TIPO HÍBRIDO

A continuación se mostrarán las bases de una de las aproximaciones más extendidas de los sistemas Neuro- Difusos de tipo Híbrido, partiendo del siguiente teorema.

TEOREMA. Cuando se usan operadores algebraicos para implementar las funciones Lógicas Difusas, el método de Fusificación es Singletons y el de Defusificación por Centro de Gravedad (Centroide), el mapeo entrada-salida del sistema Neuro-Difuso se puede representar como:

$$y(x) = \sum_{i=1}^p \frac{\mu_{A_i}(x)}{\sum_{k=1}^p \mu_{A_k}(x)} W_i \quad \dots(\text{Ec } 17)$$

Dónde p es el número de conjuntos difusos del sistema, y W_i son llamados pesos en el mismo sentido que en el de Redes Neuronales Artificiales y representan los centros de masa de cada uno de los conjuntos de salida, es decir, la ubicación de los mismos.

Con respecto al teorema, se deben tratar inicialmente tres aspectos básicos: La representación de la entrada al sistema, la representación de la salida y los métodos de aprendizaje. Con respecto a la representación de la entrada (o definición de los conjuntos de entrada) se requiere que los conjuntos definidos cumplan con las siguientes características:

- Computacionalmente eficientes.
- Soporte compacto y local.
- Partición de la unidad.

Sobre la representación de la salida, a partir de la ecuación anteriormente mencionada y de sus premisas, se concluye que la salida del sistema no depende de la forma de los conjuntos de salida, pues el método de Defusificación sólo toma en cuenta su centro de masa.

Para hacer posible la interpretación lingüística deben existir:

- a. Reglas de pertenencia continuas que permitan la existencia de Conjuntos Difusos y que como tales puedan ser tratadas lingüísticamente.
- b. Una relación invertible entre los W_i de la ecuación y los valores de pertenencia a estos conjuntos, de forma que una vez realizado el aprendizaje se pueda realimentar lingüísticamente este conocimiento al experto.

Es de vital importancia mencionar que los sistemas híbridos se clasifican en:

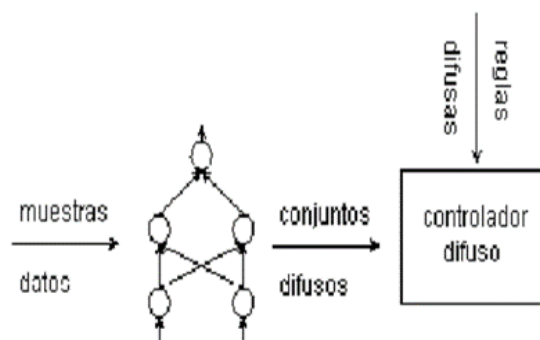
- Sistema de Inferencia Difuso-Neuronales.
- Redes Neuronales Difusas.

2.4.7.5 SISTEMAS COOPERATIVOS NEURO-DIFUSOS

En este tipo de sistemas se entrena una Red Neuronal para que esta ajuste los parámetros del Controlador Difuso mientras que este se encuentre o no en funcionamiento, dicho entrenamiento podría llevarse a cabo en las mismas condiciones. Para este tipo de sistemas existen cuatro aproximaciones, entre las cuales:

- a. A partir de datos de entrenamiento la Red Neuronal genera las Funciones de Membresías como se muestra en la Figura 13.

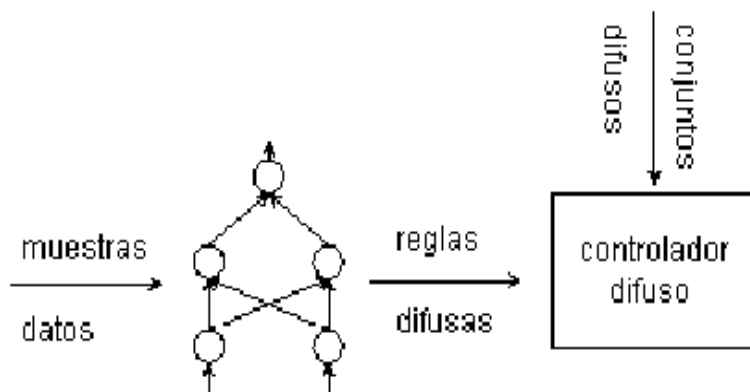
Figura 13 : Primera aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos



Fuente: (ALTROCK, 1995)

- b. A partir de datos de entrenamiento la Red Neuronal genera la Base de Reglas Lingüísticas como en la Figura 14.

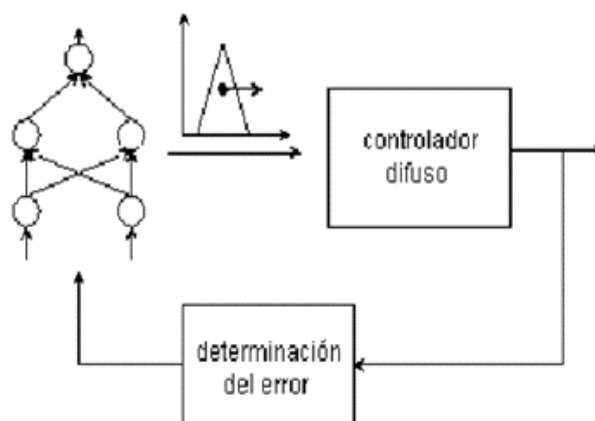
Figura 14 : Segunda aproximación de los Sistemas Neuro- Difusos Cooperativos.



Fuente: (ALTROCK, 1995)

- c. La Red Neuronal adapta parámetros a los Conjuntos Difusos del Controlador como en la Figura 15.

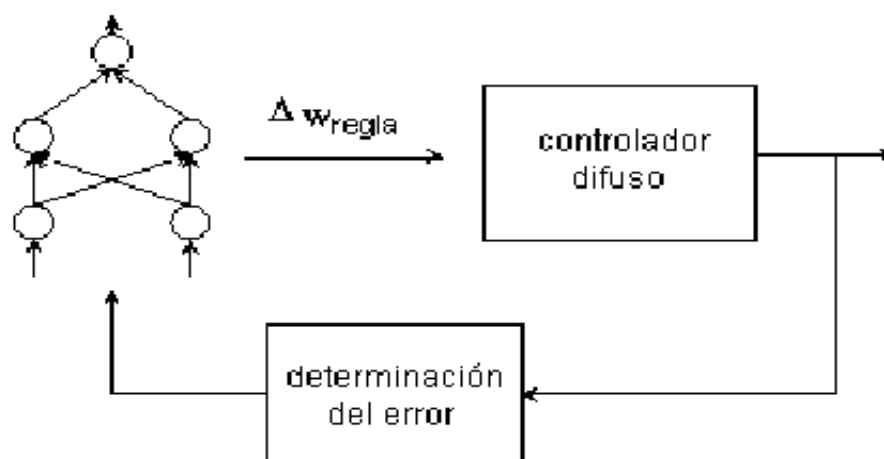
Figura 15 : Tercera aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos



Fuente: (ALTROCK, 1995)

- d. la red neuronal aprende factores de pesos que le brindan importancia a las reglas y así modificar la salida de estas mismas como se muestra en la Figura 16.

Figura 16 . Cuarta aproximación de los Sistemas Neuro-Difusos Cooperativos.



Fuente: (ALTROCK, 1995)

2.4.7.6 EL SISTEMA NEURODIFUSO ANFIS

La modelación de sistemas basada en herramientas de matemática convencional (ecuaciones diferenciales) no es muy adecuada para tratar con sistemas inciertos y mal definidos, más aún cuando se desea plasmar la experiencia humana de dicho proceso.

Los sistemas neuro-difusos surgen debido a la falta de métodos estándar para transformar el conocimiento humano o su experiencia hacia la base de reglas y datos de un sistema de inferencia difuso. Para lograr tal objetivo, se requiere de métodos efectivos para ajustar sus funciones de membresía, así como minimizar la medida del error de salida o maximizar su índice de desempeño o eficiencia.

Con esta idea en mente, surgió la arquitectura llamada ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) Sistema de Inferencia Difuso basado

en Redes Adaptivas, la cual sirve como base para construir un conjunto de reglas difusas si... entonces con funciones de membresía apropiadas para generar los pares de datos de entrada / salida óptimos. Esto se logra usando una regla de aprendizaje híbrida, basada en los métodos de optimización comunes en las redes adaptivas (el gradiente descendiente y el estimador de mínimos cuadrados).

La arquitectura que se propone para el desarrollo del presente trabajo, es un tipo de red adaptiva, que funcionalmente es equivalente a un sistema de inferencia difuso. Esta arquitectura puede representar modelos difusos tipo Sugeno (Sugeno de orden 1 y 0). Básicamente, ANFIS modela un sistema de inferencia difuso en el cual sus parámetros se ajustan mediante un algoritmo de retropropagación basándose en un conjunto de datos de entrada / salida (datos de entrenamiento), lo que le permite al sistema aprender. Debido a la mayor rapidez en el entrenamiento y a las mejores características que presentan los sistemas de primer orden sobre los de orden cero, son éstos con los que se desarrolla el presente trabajo. La siguiente descripción se centrará en ello, teniendo en cuenta que fácilmente se puede hacer una generalización hacia los otros tipos de sistemas, como el de orden cero.

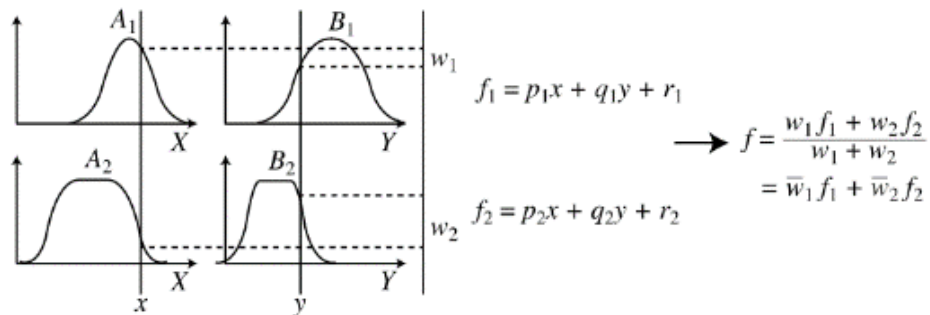
Para explicar el funcionamiento de la arquitectura, se considera un sistema de inferencia con dos entradas (x , y) y una salida (f). Para un modelo difuso tipo Sugeno de primer orden, un conjunto con dos reglas difusas si... entonces, se define como:

$$\text{Regla 1: Si } x \text{ es } A_1 \text{ y } y \text{ es } B_1, \text{ entonces } f_1 = p_1x + q_1y + r_1, \dots (\text{Ec } 18)$$

Regla 1: Si x es A_2 y y es B_2 , entonces $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (Ec 19)

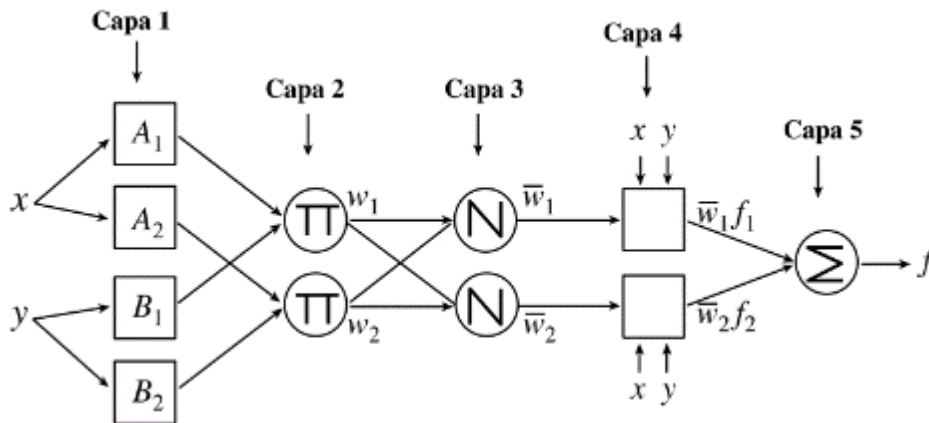
La Figura 17 ilustra el mecanismo de razonamiento para un Sistema de Inferencia Difuso tipo Sugeno; la arquitectura ANFIS correspondiente se muestra en la Figura 18, en la cual, los nodos en una misma capa realizan funciones similares. A continuación se da una descripción de la función que realiza cada capa en la arquitectura mostrada (en donde la salida del i -ésimo nodo en la capa k se denota como O_i^k). Se hace notar que los dos sistemas son equivalentes.

Figura 17 : Sistema de Inferencia Difuso tipo Sugeno de primer orden con dos entradas y dos reglas difusas



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Figura 18 : Arquitectura ANFIS equivalente



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Capa 1. Cada nodo i en esta capa es un nodo adaptable con una función de nodo definida por:

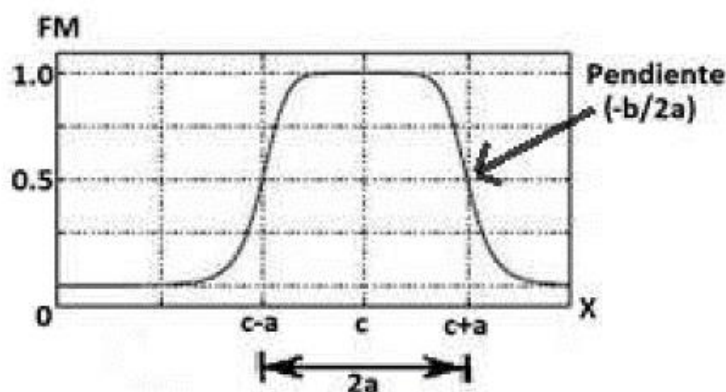
$$O_i^k = \mu_{A_i}(x) \quad \dots(\text{Ec } 20)$$

Donde x (o y) es la entrada al nodo i , y A_i (o A_i) es una etiqueta lingüística (tal como "pequeño" o "alto") asociada con este nodo. En otras palabras, O_i^k es el grado de membresía a un conjunto difuso A ($A = A_1, A_2$, o $B = B_1, B_2$), el cual especifica el grado en que una entrada (x o y) satisface al cuantificador A_i . La función de membresía de A , debe ser una función parametrizada que sea continua y derivable a tramos, se utiliza la función campana generalizada como FM, cuya expresión matemática está dada por:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad \dots(\text{Ec } 21)$$

Donde (a_i, b_i, c_i) es el conjunto de parámetros que definen la posición y forma de la campana: a_i especifica el ancho de la campana; b_i el valor de las pendientes; y c_i la posición en el eje x de su eje de simetría. Esto se ilustra en la Figura 19. Una función de membresía trapezoidal o una triangular, también son candidatas calificadas para funciones de nodo en esta capa. Los parámetros en esta capa son referidos como parámetros de premisa.

Figura 19 : Parámetros de la Función de Membresía Campana Generalizada



Fuente: (MARTIN DEL BRIO & SANZ MOLINA, 2006)

Capa 2. Los nodos de esta capa son nodos fijos, y se etiquetan con el símbolo π ; la salida aquí es la operación norma-T de todas las señales que entran a él:

$$O_2^k = w_i = T(\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(y)), \quad i = 1, 2. \quad \dots(\text{Ec } 22)$$

Cada salida de estos nodos representa la intensidad de disparo de una regla. En general, se puede emplear cualquier operador norma-T como función de nodo en esta capa.

Capa 3. Esta capa se compone de nodos fijos etiquetados con N. El i-ésimo nodo calcula la relación de la intensidad de disparo de la i-ésima regla con respecto a la suma de las intensidades de disparo de todas las reglas:

$$O_3^k = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad \dots(\text{Ec } 23)$$

A cada salida de esta capa se le llama intensidad de disparo normalizada.

Capa 4. Cada nodo i en esta capa es un nodo adaptable con una función definida por:

$$O_4^k = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad \dots(\text{Ec } 24)$$

Donde \bar{w}_i es una salida de intensidad normalizada de la capa 3, y $\{p_i, q_i, r_i\}$ es el conjunto de parámetros que define a los polinomios z_i en este nodo. Los parámetros en esta capa son referidos como parámetros del consecuente.

Capa 5. El único nodo presente en esta capa, es un nodo fijo denotado por Σ , el cual calcula la salida global como la suma de todas las señales que entran a él:

$$\text{Salida Global} = f = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad \dots(\text{Ec } 25)$$

De esta forma, lo que se obtiene es una red adaptiva (Figura 18), la cual es,

como se puede apreciar en la Figura 17, funcionalmente equivalente a un Sistema de Inferencia Difuso tipo Sugeno.

La estructura mostrada no es única, ya que se pueden hacer otras construcciones equivalentes, por ejemplo combinando las capas 3 y 4, con lo que la red tendría solo cuatro capas.

2.4.7.6.1 ANFIS Y LA REGLA DE APRENDIZAJE HÍBRIDA

De la arquitectura ANFIS mostrada en la Figura 2-43 se observa que, si los valores de los parámetros de la premisa son fijos, la salida global puede expresarse como una combinación lineal de los parámetros del consecuente. Esto es, la salida f en la Figura 2-43 se puede describir como:

$$f = \frac{w_1}{w_1+w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1+w_2} f_2 = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad \dots(\text{Ec } 26)$$

$$f = \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \quad \dots(\text{Ec } 27)$$

$$f = \bar{w}_1(x)p_1 + \bar{w}_1(y)q_1 + \bar{w}_1r_1 + \bar{w}_2(x)p_2 + \bar{w}_2(y)q_2 + \bar{w}_2r_2 \quad \dots(\text{Ec } 28)$$

Como resultado de esto, se tiene lo siguiente, de la regla de aprendizaje híbrida.

S = Conjunto total de parámetros

S_1 =Conjunto de parámetros de la premisa (no lineales)

S_2 =Conjunto de parámetros del consecuente (lineales)

De la regla de aprendizaje híbrida se tiene también que, $H(\cdot)$ y $F(\cdot, \cdot)$ son la función identidad y la función del sistema de inferencia difusa, respectivamente. Por consiguiente, el algoritmo de aprendizaje híbrido se puede aplicar

directamente. En el paso en avance del algoritmo de aprendizaje híbrido, las salidas de los nodos van hacia adelante hasta la capa 4, y los parámetros del consecuente se identifican por el método de mínimos cuadrados. En el paso en retroceso, las señales de error se propagan hacia atrás y los parámetros de la premisa se actualizan mediante el descendiente del gradiente.

Sin embargo, debe notarse que la complejidad en el cálculo del método LSE (Estimador de Mínimos Cuadrados) es mayor que en el del descendiente del gradiente. De hecho, hay cuatro métodos para actualizar los parámetros, tal como se enumeran a continuación de acuerdo con la complejidad de cómputo asociada:

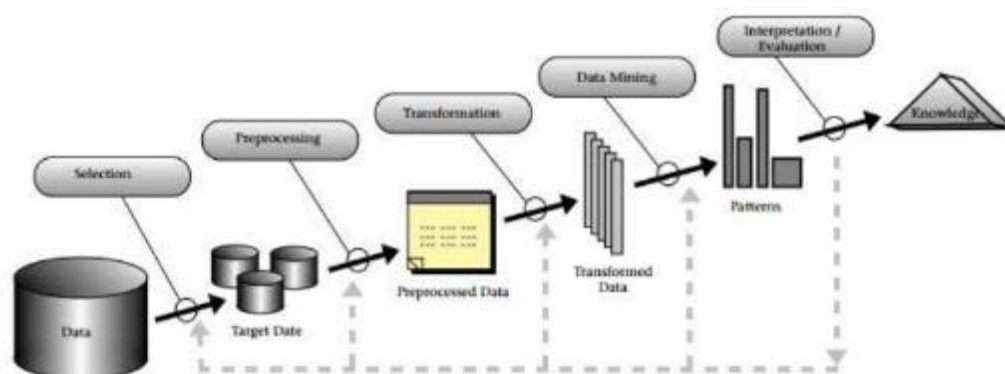
- a. Solamente el gradiente descendente: Todos los parámetros se actualizan con el método del gradiente descendente (en el paso en avance y en el de retroceso).
- b. Gradiente Descendiente y un paso de LSE: El método de LSE se aplica sólo una vez al comienzo, para obtener los valores iniciales de los parámetros del consecuente y, entonces, el gradiente descendente se aplica para obtener todos los parámetros.
- c. Gradiente descendente y LSE: Esta es la regla de aprendizaje híbrida propuesta.
- d. Solamente LSE secuencial (aproximado): ANFIS se hace lineal con respecto a los parámetros de la premisa y se utiliza el algoritmo de Kalman extendido para actualizar a todos los parámetros

Como ya se ha mencionado, los parámetros del consecuente encontrados de esta forma son óptimos, bajo la condición de que los parámetros de la premisa sean fijos. Así, el método híbrido converge mucho más rápido, puesto que reduce las dimensiones del espacio de búsqueda del método original de retropropagación.

2.4.7.6.2 AGRUPAMIENTO DIFUSO

El agrupamiento numérico es la base de muchas clasificaciones y de algoritmos para el modelaje de sistemas. El propósito del agrupamiento es identificar conjuntos de datos de un conjunto mayor para obtener una concisa representación del comportamiento del sistema, en la figura 20 se muestra los pasos en el agrupamiento de datos.

Figura 20 : Pasos en el agrupamiento de datos



Fuente: (JANG & GULLEY, 1995)

Un problema con el agrupamiento es la partición del conjunto dado, en grupos de tal manera que los datos en un grupo sean lo más similares entre ellos, que con datos de otros tipos. De esta manera, el objeto principal en el proceso de agrupamiento es encontrar la organización de datos dentro de grupos

"sensibles", los cuales permitan descubrir similitudes y diferencias, así como deducir conclusiones acerca de estos.

MATLAB posee algunas herramientas que permiten encontrar grupos en los datos de entrada / salida para el entrenamiento.

Para el entrenamiento de ANFIS, MATLAB permite escoger entre partición por rejilla y agrupamiento substractivo (sub-clustering). A continuación se indica una breve descripción de estos dos métodos. Se debe mencionar que el objetivo de este trabajo no es profundizar sobre los diferentes tipos de métodos para el agrupamiento de datos, lo que se trata es de dar una idea, de cómo son utilizadas estas herramientas en el entrenamiento de ANFIS.

Partición por Rejilla:

En esta aproximación se utiliza las funciones de membresía previamente definidas para las variables de entrada del antecedente, las mismas que son utilizadas para el agrupamiento de los datos en el espacio de entrada. El agrupamiento se realiza utilizando una combinación lógica de las funciones de membresía del antecedente.

El principal problema de este método es que el número de reglas crece rápidamente. El número de reglas N que son necesarias para cubrir completamente el dominio del antecedente está dado por la expresión:

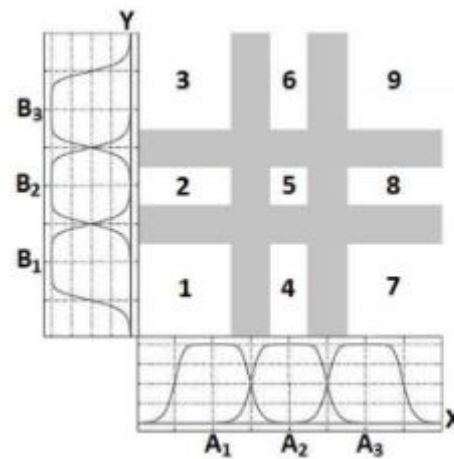
$$N = \prod_{i=1}^r R_i \quad \dots(\text{Ec } 29)$$

Donde r es la dimensión del espacio de entrada y R_i es el número de etiquetas

lingüísticas de la i -ésima variable del antecedente. La dimensión del espacio r es una función del número de entradas y del orden del sistema difuso.

La aplicación práctica de la partición por rejilla está restringida a pequeños sistemas (dos o tres entradas) ya que el número de reglas es muy grande para sistemas con mayor número de entradas. En la figura 21 se muestra un ejemplo de la partición por rejilla para una ANFIS con dos entradas y con nueve reglas difusas.

Figura 21 : Partición por rejilla.



Fuente: (JANG & GULLEY, 1995)

La partición por rejilla se modifica con el entrenamiento del modelo ANFIS, ya que los parámetros de las funciones de membresía son modificados en este.

Agrupamiento Substractivo (Sub-Clustering)

Este método considera a cada punto de dato como un potencial centro del grupo. Una medida del potencial de cada punto de dato es definido como una función de las distancias euclidianas a todos los otros puntos de datos de entrada.

$$D(i) = \sum_{j=1}^P \exp(-\delta \|q(i) - q(j)\|^2) \quad i = 1, \dots, D \quad \dots(\text{Ec } 30)$$

Donde P representa el número de pares de datos de entrenamiento, $q(i)$ es el vector de entrada y δ es el parámetro de diseño. Obviamente el potencial de un punto de dato es mayor cuando éste se encuentra rodeado por una vecindad de datos. A continuación se indican los pasos que se siguen en este algoritmo.

1. Para $i = 1, \dots, P$ se calcula los valores de potencial $D(i)$
2. Se define $J = 1$ y se selecciona el punto de dato con el mayor valor de potencial como el primer centro del grupo. Siendo $\dot{q}(1)$ la localización del punto y $\dot{D}(1)$ su potencial.
3. Se revisa el potencial de cada punto de datos $i = 1, \dots, P$ por la fórmula:

$$D(i) = D(i) - \dot{D}(1)\exp(-\beta\|q(i) - \dot{q}(1)\|^2) \quad \dots(\text{Ec } 31)$$

4. Se define $J = J + 1$ y se selecciona el punto de dato con el mayor potencial como el siguiente centro. Siendo $\dot{q}(J)$ la localización del nuevo centro y $\dot{D}(J)$ su potencial.
5. Se revisa el potencial para cada punto de dato, $i = 1, \dots, P$ por la fórmula:

$$D(i) = D(i) - \dot{D}(J)\exp(-\beta\|q(i) - \dot{q}(J)\|^2) \quad \dots(\text{Ec } 32)$$

6. Si la inecuación $\dot{D}(J) < \varepsilon\dot{D}(1)$ es verdadera se detiene el algoritmo y se regresa al paso 4.

Los parámetros δ y β pueden ser considerados como radios, usando las siguientes igualdades:

$$\delta = \frac{4}{a_\delta^2}, \quad \beta = \frac{4}{a_\beta^2} \quad \dots(\text{Ec } 33)$$

Cada uno de los radios anteriores define una vecindad en el espacio de entrada, se debe mencionar que el valor de β debe ser menor que el de δ .

La selección de ε es muy importante para producir la estructura del sistema. Si ε es seleccionado muy pequeño, un gran número de centros de grupo serán generados. De lo contrario, un valor grande de ε generará una estructura pequeña para el sistema.

De los dos métodos anteriormente detallados, el segundo método requiere una mayor capacidad computacional, lo que no ocurre con el primero. Sin embargo si se tiene un sistema con muchas entradas y varias funciones de membresía por entrada, trabajar con el primer método sería imposible por el excesivo número de grupos (reglas difusas), lo que no ocurre con el segundo, que es independiente del número de entradas y de sus funciones de membresía, únicamente toma en cuenta el vector de entrada y los parámetros δ , β y ε .

2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de tráfico vehicular centralizado integrado con un controlador neuro-difuso del tipo ANFIS mejorará el control de tráfico vehicular en la ciudad de Puno

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- a) El controlador a diseñarse e implementarse basado en un relé inteligente Zelio con módulos de comunicación Ethernet y/o Modbus y sensores magnéticos de presencia de vehículos, cumplirá con las características requeridas de comunicación, compatibilidad con semáforos existentes, lectura de datos del flujo vehicular y bajo costo de implementación

- b) El diseño e implementación de una red de comunicación con un topología de red mixta en estrella para nodos troncales y bus de campo para los controladores semafóricos, con protocolos de comunicación Ethernet y Modbus garantizará la comunicación entre ellos y la estación central de control

- c) El diseño e implementación de un sistema de control de optimización de parámetros de temporización de los semáforos a través de un controlador neurodifusos del tipo ANFIS, así como un sistema de control y monitoreo centralizado mejorar el flujo vehicular en la ciudad de Puno.

2.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

En la tabla 6 se muestra las variables dependientes e independientes con sus respectivas dimensiones e indicadores.

Tabla 6 : Operacionalización de variables de acuerdo a los objetivo de estudio

| VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|---|
| <p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de vehículos - Tiempo de vía libre | <ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de vehículos por hora - Segundos | <ul style="list-style-type: none"> - Número de vehículos por hora que circula por la vía principal y secundaria - Tiempo en segundos que se tiene la vía libre a inicio y final del ciclo en verde del semáforo |
| <p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temporización de luces de los semáforos - Flujo Vehicular | <ul style="list-style-type: none"> - Segundos - Velocidad de desplazamiento - Tiempo de Viaje | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo en segundo de temporización en verde de las vía principal y secundaria - Velocidad promedio a la que circula los vehículos en la vía principal y secundaria - Tiempo en segundos de la duración del viaje para ir de una intersección a otra |

Elaboración: Propia

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño del presente proyecto de investigación es del tipo **quasi experimental y aplicada**, ya que se manipulara deliberadamente al menos una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes. (SAMPIERI, COLLADO, & BAPTISTA, 2014)

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se considera como población de estudio al flujo vehicular en las vías consideradas como corredores viales en la ciudad de Puno, Estas son vías de tratamiento y reglamentación especial, por sus características físicas son de tráfico de rápido (regulación de velocidad) y continuas, sin obstáculos. Las intersecciones tienen diseño especial, las superficies de rodadura son adecuadas, su uso se norma por su jerarquía y función, por su derecho de vía programada y/o reservada y por el uso del suelo urbano. Según estudio de trafico

municipalidad provincial de Puno son corredores viales los mostrados en la tabla 7. (CPIT, 2010)

Tabla 7 : Corredores viales en la ciudad de Puno

| TIPO | VÍAS |
|------------------|---|
| Corredor Vial 01 | Av. Juliaca, Av. Circunvalación |
| Corredor Vial 02 | Av. Floral, Av. Sesquicentenario, Av. Chulluni |
| Corredor Vial 03 | Av. El Sol, Av. El Ejército, Vía Panamericana Este |
| Corredor Vial 04 | Av. Simón Bolívar, Av. El Ejército, Vía Panamericana Este |

Fuente: (CPIT, 2010)

Estas vías por lo general requieren de la implementación de sistema semafórico para su control vehicular.

3.2.2 MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

Puesto que el diseño que se plantea se puede dividir por cada corredor vial, se tomara como muestra para la aplicación de la investigación al corredor vial 03 (Av. El Sol), por ser esta una de las vías que concentra la mayor cantidad de flujo vehicular.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

3.3.1 UBICACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población de estudio se ubica en la Ciudad de Puno, provincia y departamento del mismo nombre, básicamente corresponde a las vías de circulación principal denominadas corredores viales, se eligió como muestra de la población al corredor vial de la Av. El Sol.

3.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

La población está constituida por el flujo vehicular que existe en las vías

principales de la ciudad de puno, este se caracteriza por ser aleatoria y poco predecible, ya que depende de muchos factores como lo son diseño de las vías, estado de las mismas, el sistema de semaforización, el conductor, el peatón...etc. De estos factores el que se pretende mejorar es el flujo vehicular.

3.4 MATERIAL EXPERIMENTAL

A continuación se listan los principales materiales que serán necesarios para la implementación de las diferentes etapas del proyecto.

3.4.1 HARDWARE

- Tablero Eléctrico Mural TOTEN IP66 – 400x300x200 mm
- Relé Inteligente Zelio Logic SR3 B101BD
- Fuente de Alimentación 24VDC ABL8MEM24012
- Módulo de Comunicación Ethernet SR3 NET01BD
- Módulo de Comunicación Modbus SR3 MBU01BD
- Llave termo magnética de 1x2Amp
- Llave termo magnética de 1x8Amp
- Accesorios para armado (Canaleta Ranurada, borneras, cable SIS, terminales, etc.)
- Semáforo con Tecnología LED
- Access Point
- Cable UTP
- Conectores RJ45
- Computadora Personal

3.4.2 SOFTWARE

- MATLAB
- PROTEUS
- PICC PCHW
- INFILINK
- KEPSERVEREX
- ZELIOSOFT

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Para la obtención de información relacionada a cada variable e indicador, se emplearán las técnicas e instrumentos que se presenta a continuación.

3.5.1 TÉCNICAS

La técnica que se aplicara para la recolección de datos será la **observación**, el cual consiste en examinar minuciosa y detalladamente los diferentes aspectos un tema de estudio, durante un período definido a un fenómeno determinado con el fin de captar, registrar y sistematizar sus condiciones y manifestaciones similares o periódicamente distintas, según el caso. Esto es, establecer contacto con el fenómeno bajo estudio.

3.5.2 INSTRUMENTOS

Lectura Manual de datos en Campo: Se tomara como instrumento de recopilación de información a la lectura que se realizara en las diferentes intersecciones semaforizadas con la que cuenta la población muestra

seleccionada. En ella se registrara la cantidad de flujo vehicular para cada dirección de flujo, así como el tiempo libre inicial y final del ciclo en verde, así como el desfase que existe entre los semáforos de la vía en estudio.

Sensores de Presencia de Vehículos: Con el sistema implementado se recopilara información del flujo vehicular de forma automatizada, la cual se registrara en una base de datos según una estructura definida.

3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos recopilados ya sea en forma manual o automatizada serán tabulados de acuerdo a una estructura que se requerirá para el cálculo óptimo de los parámetros de temporización de la vía en estudio

Así mismo, se codificara los diferentes puntos de toma de datos en las diferentes intersecciones de la vía en estudio, esta codificación será única para cada punto, esto con el fin de que no haya duplicidad ni error en el direccionamiento de los datos recolectados.

3.6.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS

La información recopilada será utilizada por el controlador neuro-difuso, el cual generara un modelo del flujo vehicular en estudio y a partir de ello se proyectara los valores óptimos de los parámetros de temporización.

3.7 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

3.7.1 ESCENARIO INICIAL

3.7.1.1 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA SEMAFÓRICO DE LA CIUDAD DE PUNO

Es sabido que existe instalado semáforo en diferentes partes de la ciudad, no obstante no en la cantidad suficiente como es que se requiere, más aun estos sistema actuales funcionan de manera local y no esta sincronizados, es decir tiene tiempos pre establecidos para dar la señal de pare y avance (luz roja y verde respectivamente).

La Municipalidad Provincial de Puno encargo el estudio del plan regulador de rutas de transporte público y urbano, donde concluyen que las instalaciones del sistema semafórico son muy deficientes ya que son semáforos de tiempo fijo y no cuentan con sincronización, En la tabla 8 se indica aquellas intersecciones que cuentan con semáforo y aquellas que requieren su instalación

Tabla 8 : Intersecciones que requieren la implementación de semáforos centralizados

| Nº | INTERSECCION | | SEMAFOROS IMPLEMENTADOS | Nº de SEMAFOROS | OPERATIVO |
|----|----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| | VIA Nº 01 | VIA Nº 02 | | | |
| 1 | Av. El Ejército | Av. Circunvalación Sur | | 4 | 4 |
| 2 | Jr. Ayacucho | Av. Circunvalación Sur | X | 4 | 4 |
| 3 | Av. Leoncio Prado | Av. Circunvalación Sur | | 4 | 4 |
| 4 | Av. Laykakota | Jr. Branden | X | 2 | 2 |
| 5 | Jr. Bancharo Rosi | Av. El Sol | X | 2 | 2 |
| 6 | Jr. Del Puerto | Av. El Sol | X | 2 | 2 |
| 7 | Jr. Los Inkas | Av. El Sol | X | 2 | 2 |
| 8 | Av. Floral | Av. El Sol | X | 2 | 2 |
| 9 | Av. Floral | Av. Costanera | X | 2 | 2 |
| 10 | Av. La Torre | Av. Floral | X | 2 | 2 |
| 11 | Av. La Torre | Jr. Pardo | X | 2 | 2 |
| 12 | Jr. Tacna | Jr. Melgar | | 2 | 2 |
| 13 | Jr. Tacna | Jr. Deustua | | 2 | 2 |
| 14 | Jr. Tacna | Jr. Carabaya | | 1 | 1 |
| 15 | Jr. Moquegua | Jr. Cajamarca | | 2 | 2 |
| 16 | Jr. Arequipa | Jr. Fermín Arbulú | | 2 | 2 |
| 17 | Jr. llave | Jr. Deustua | | 3 | 3 |
| 18 | MERCADO CENTRAL | | X | 2 | 2 |
| | TOTAL SEMAFOROS | | | 42 | 42 |

Fuente: (CPIT, 2010)

3.7.1.2 PARQUE AUTOMOTOR EN LA REGIÓN PUNO

La bonanza económica de la que goza el país en los últimos años, no solamente trajo grandes beneficios a la población, sino también dificultades; rebasando así la capacidad resolutoria de las autoridades locales y regionales, principalmente en el tema del transporte público, debido a la alta concentración vehicular que provoca la saturación de las principales redes viales de la ciudad de Puno.

De acuerdo con los reportes de la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP), más de 14 mil vehículos ingresan anualmente a la región Puno, una cifra que aumentó dramáticamente el parque automotor en las últimas décadas, originando un evidente colapso del mismo.

En la ciudad de Puno, en el servicio de transporte urbano operan 49 empresas, con una flota vehicular de 813 camionetas rurales (combis), sin incluir los taxis y moto taxis; estos últimos coadyuvan a la congestión vehicular, principalmente en el centro de la ciudad, que comprende la avenida La Torre, los jirones Tacna y Los Incas.

Mientras que, en el servicio de transporte interurbano existen 38 empresas, con un número de 557 vehículos entre combis y minibuses, según el registro de la Sub Gerencia de Transportes de la Municipalidad Provincial de Puno.

Según las cifras emitidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Oficina General de Planificación y Presupuesto, el crecimiento del parque automotor de la región Puno va creciendo pasos agigantados, como lo muestra en la tabla 9.

Tabla 9 : Parque automotor en circulación a nivel nacional, según 'departamento, 2004 – 2013

| Departamento | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Total | 1 440 017 | 1 473 530 | 1 534 303 | 1 640 970 | 1 732 834 | 1 849 690 | 1 979 865 | 2 137 837 | 2 223 092 |
| Amazonas | 2 020 | 2 103 | 2 168 | 2 218 | 2 292 | 2 390 | 2 407 | 2 400 | 2 351 |
| Áncash | 19 382 | 19 757 | 20 354 | 21 001 | 21 309 | 22 086 | 23 322 | 25 418 | 26 786 |
| Apurímac | 3 816 | 3 879 | 3 916 | 3 934 | 3 973 | 3 969 | 3 966 | 4 039 | 4 048 |
| Arequipa | 79 544 | 81 293 | 84 829 | 91 674 | 98 270 | 106 521 | 118 985 | 134 533 | 143 914 |
| Ayacucho | 3 919 | 3 969 | 4 153 | 5 404 | 5 572 | 5 716 | 5 784 | 5 941 | 5 950 |
| Cajamarca | 9 501 | 10 256 | 11 255 | 12 383 | 13 563 | 15 107 | 17 320 | 19 673 | 20 849 |
| Cusco | 35 705 | 36 204 | 37 592 | 39 688 | 42 175 | 45 090 | 48 491 | 53 675 | 57 222 |
| Huancavelica | 1 061 | 1 080 | 1 103 | 1 216 | 1 291 | 1 319 | 1 317 | 1 323 | 1 298 |
| Huánuco | 10 886 | 10 836 | 10 892 | 11 255 | 11 382 | 11 864 | 12 576 | 13 476 | 13 899 |
| Ica | 22 753 | 22 834 | 23 170 | 25 498 | 25 691 | 26 135 | 26 419 | 26 551 | 26 305 |
| Junín | 43 648 | 44 454 | 46 091 | 47 769 | 49 404 | 51 094 | 53 118 | 56 237 | 57 762 |
| La Libertad | 153 777 | 152 847 | 153 251 | 155 411 | 156 646 | 158 672 | 162 026 | 167 325 | 170 255 |
| Lambayeque | 38 263 | 38 744 | 39 930 | 41 920 | 43 689 | 45 881 | 49 440 | 53 902 | 56 412 |
| Lima 1/ | 885 636 | 912 763 | 957 368 | 1 036 850 | 1 106 444 | 1 195 353 | 1 287 454 | 1 395 576 | 1 453 028 |
| Loreto | 5 286 | 5 215 | 5 154 | 5 132 | 5 089 | 5 089 | 5 211 | 5 313 | 5 372 |
| Madre de Dios | 819 | 827 | 870 | 913 | 941 | 986 | 1 027 | 1 062 | 1 099 |
| Moquegua | 9 622 | 10 394 | 11 418 | 12 202 | 12 692 | 13 348 | 14 003 | 14 608 | 14 772 |
| Pasco | 5 232 | 5 514 | 6 075 | 6 807 | 7 187 | 7 351 | 7 292 | 7 238 | 7 103 |
| Piura | 31 734 | 31 828 | 32 314 | 33 497 | 34 650 | 36 367 | 39 099 | 42 404 | 44 543 |
| Puno | 25 874 | 26 452 | 28 062 | 29 889 | 31 645 | 34 169 | 37 074 | 40 543 | 42 383 |
| San Martín | 10 156 | 10 033 | 9 969 | 9 917 | 9 977 | 10 151 | 10 418 | 10 926 | 11 082 |
| Tacna | 31 119 | 32 011 | 33 944 | 35 911 | 38 457 | 40 465 | 42 318 | 44 430 | 45 247 |
| Tumbes | 3 009 | 3 025 | 3 042 | 3 040 | 3 054 | 3 086 | 3 119 | 3 257 | 3 296 |
| Ucayali | 7 255 | 7 212 | 7 383 | 7 441 | 7 441 | 7 481 | 7 679 | 7 987 | 8 116 |

Fuente: (MTC, 2016)

3.7.1.3 FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE PUNO

En cuanto a la oferta vehicular de la ciudad de Puno, Se observa que existe una sobreoferta de vehículos de menor capacidad (taxis, moto taxis y tricitaxis) que superan los 3,000 mil vehículos, en la tabla 10 se muestra un resumen de la oferta vehicular.

Tabla 10 : De la Oferta de Transporte en la ciudad de Puno

| Nº | TIPO DE SERVICIO | CANTIDAD DE EMPRESAS | CANTIDAD DE UNIDADES VEHICULARES |
|----|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 1 | Urbano | 48 | 741 |
| 2 | Interurbano | 38 | 499 |
| 3 | Taxis | 60 | 1375 |
| 4 | Carga | 12 | 122 |
| 5 | Vehículos menores motorizados | 18 | 578 |
| 6 | Vehículos menores no motorizados | --- | 237 |
| | TOTAL | | 3,553 |

Fuente: (CPIT, 2010)

En la ciudad de Puno el servicio de transporte urbano e interurbano de pasajeros tiene una flota de 1240 unidades vehiculares que presta servicio con una antigüedad de la flota predominante fluctúa de 15 a 20 años de antigüedad, que en algunos casos superan los 22 años.

En cuanto a la contaminación ambiental en la ciudad de Puno, el 65% lo genera el transporte urbano. Asimismo la falta de revisiones técnicas permite que tengamos un parque vehicular que supera los 22 años de antigüedad.

3.7.2 REQUISITOS DEL SISTEMA

El sistema que se propone se divide en dos grupos de requisitos principales; el primer grupo corresponde al hardware necesario para la implementación física del sistema, esto implica los semáforos, sensores de presencia de vehículos, el controlador de los semáforos, arquitectura de red de los controladores, el Workstation del centro de control. El segundo grupo corresponde a la lógica de control del sistema, los que implica el software necesario para el manejo de la información de la cantidad de vehículos en movimiento en la ciudad, el cálculo a través de la lógica neuro difusa para calcular los tiempos de los semáforos, la integración de todos los controladores semaforicos en una red, y la visualización

en un sistema Scada.

3.7.2.1 HARDWARE

El hardware está constituido por todos los equipos que se requieren para el funcionamiento del todo el sistema de manera óptima, para ellos se requieren los siguientes equipos:

- Controlador semafórico
- Semáforos
- Sensores de presencia de vehículos
- Arquitectura de red de los controladores,
- Workstation del centro de control

3.7.2.2 SOFTWARE

El software necesario que el sistema requiere para la integración de todo el hardware y puesta en funcionamiento desde el punto de vista del control del sistema, tiene que cumplir las siguientes funciones.

- Base de datos
- Software para el cálculo de la temporización de los semaforos
- Sistema Scada.

3.7.3 DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por los diferentes elementos hardware y software que una vez integrados hace que el sistema funcione, la razón fundamental de este sistema es optimizar el flujo vehicular de la ciudad de Puno, bajo los siguientes parámetros:

El primer parámetro a considerar es la integración del sistema, para ello se requiere que se diseñe unos controladores semaforicos con la capacidad de comunicación, con lo cual podremos integrarlo en una red y además de monitorearlos poderlos controlar desde una estación central, además este controlador deberá de tener la capacidad de tener entradas digitales, mediante las cuales se colocaran sensores para el conteo de los vehículos que pasan por las intersecciones semaforizadas.

El segundo parámetro a considerar es el modo de la arquitectura de comunicación que llevara a integrar los controladores, considerando lo accidentado de la geografía de la ciudad y la cantidad de intersecciones que deberían de ser semaforizadas.

El tercer parámetro a considerar es la arquitectura de control, el cual debe de usar los primeros dos primeros parámetros para aprovecharlo al máximo, es decir con un controlador ya centralizado e integrado a una red con la opción de poder contar la cantidad de vehículos que pasan por la intersección semaforizada y a la vez poder modificar los tiempo de semaforización, la arquitectura de control deberá de encargarse de controlar todos los semáforos integrados a su red, controlar el sincronismo de su funcionamiento, asigne a cada controlador los tiempos de operación, e informar y registrar cualquier evento respecto a los controladores y semáforos.

Otro de los parámetros a considerar es el costo, ya que sistemas parecidos al que se propone ya existe en el mercado solo que tienen un costo muy elevado,

los cual lo hace no atractivo para la implementación en nuestra ciudad.

3.7.3.1 DISEÑO DEL CONTROLADOR Y SEMÁFORO

3.7.3.1.1 DISEÑO DEL CONTROLADOR

Según los requerimientos del sistema el controlador que se requiere deberá de tener las siguientes características.

Características Eléctricas

- Alimentación 220VAC / 50HZ.
- Interruptores termomagnéticos de protección; 01 para etapa de potencia y 01 para etapa de control.
- Fuente de poder.
- Enchufe de servicio.
- Salida de potencia en base a relés
- Máxima potencia por salida 300W.

Modos de Operación

- Tiempos fijos.
- Coordinación por RED.
- Actuado por Vehículo.
- Emergencia.

Etapas y Salidas

- 8 etapas vehiculares, configurables como peatonales o flechas.
- 12 salidas físicas, ampliables como opcional hasta 24.

Entradas de Detectores

- 06 entradas para demanda vehicular o peatonal.
- Voltaje de entrada de detectores 24VDC.

Fases, Planes y Tabla Horaria

- Hasta 16 fases.
- Tiempos de verde de 0 hasta 99 seg.
- Offset desde 0 hasta 99 seg.

Cronometría

- Obtenida en base del reloj de tiempo real con batería de respaldo.
- Compatible con configuración remota.

Software

- En base a comandos de fácil nemotecnia.
- Monitoreo en tiempo real del estado operacional de detectores.
- Fácil revisión y modificación de repartos, tabla horaria, offset, ciclos, etc.

Comunicación Externa

- Comunicación modbus y Ethernet. Seleccionable de acuerdo a uso.

Compatibilidad

- Deberá de tener compatibilidad con los semáforos existentes.

3.7.3.1.2 DISEÑO DEL SEMÁFORO

Los semáforos deberán de ser de tecnología LED ya que permite un ahorro de energía sobre el 85 % v/s los sistemas de filamentos y su vida útil sobrepasa enormemente a dichos sistemas antiguos, deberá de tener las siguientes características.

Voltaje de Alimentación

AC: 80V – 280V 50HZ / 60HZ

Potencia

ROJO < 8 W / AMARILLO < 8 W / VERDE < 9 W

Intensidad Lumínica

ROJO > 400 cd

AMARILLO > 400 cd

VERDE > 400 cd

Sellado

Conforme a IP64

Esto asegura a que los niveles de intensidad, cromaticidad, ruido introducido en la línea de alimentación, factor de potencia y otros parámetros relevantes se hallan dentro de los exigencias, lo cual se transforma en confiabilidad, estabilidad y larga vida útil.

3.7.3.2 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN

Debido a lo accidentado de la geografía de la ciudad de Puno, la arquitectura de comunicación se deberá de ajustar de acuerdo a ello, como se mencionó en la sección 3.7.3.1.1 “diseño del controlador” este debería de contar con red Modbus o Ethernet según sea lo requerido, aprovechando estos módulos se deberán de diseñar una arquitectura de red que integre cada uno de los semáforos de la ciudad y posean comunicación con el centro de control, para ello deberá de cumplir los siguientes requerimientos.

- Comunicación Modbus cableado para intersecciones cercanas
- Comunicación Ethernet por Wifi para distancias mayores
- Comunicación Ethernet en FF.OO. para troncales e integración al sistema central.
- Ancho de banda 100 BASE TX/RX

3.7.3.3 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y SISTEMA SCADA

La arquitectura de control es el corazón del sistema propuesto, para ello este sistema se caracteriza por la aplicación de un sistema de control basado en un sistema de control neuro-difuso ANFIS, el cual a través de los datos que recopilara el sistema de control podrá proyectar valores óptimos de temporización de las intersecciones, así como el desfase que deberá de haber entre cada intersección para generar las olas verdes. Entonces la arquitectura de control deberá de cumplir con los siguientes requerimientos.

- Manipulación de los datos de entrada (cantidad de vehículos por vía, tiempo libre de vía)
- Calculo de los tiempos de temporización para la luz verde y roja de cada intersección.
- Calculo del desfase entre las intersecciones para la generación de la ola verde.

El sistema scada básicamente se encarga de mostrar en pantalla el estado actual del sistema de semaforización, así como el control de algunos aspectos del mismo, es así que este sistema deberá de cumplir con los siguientes requerimientos.

Monitoreo y Control en Tiempo Real

- Dispone de una Pantalla general donde se muestre todo el sistema de semaforización de la ciudad. La cual permite optimizar la revisión del equipo haciendo más rápido el diagnostico de fallas, la verificación del estado de operación del mismo y la visualización de parámetros relevantes del sistema.
- Pantallas secundarias de cada controlador semafórico, desde donde se pueda monitorear sus valores de estado, así como el control de sus parámetros.

Bitácora de Fallas

- Almacena todo error, indicando la hora, fecha y tipo de falla detectada.

- Fácil de acceder, leer y borrar.
- Mantienen los datos, aun con el equipo desenergizado.

Seguridad

- Monitoreo permanente del estado de los aspectos verdes.
- Monitoreo permanente del estado de los aspectos rojos.
- Monitoreo permanente de verdes conflictivos.

3.7.4 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se detalla el proceso de implementación del prototipo de todas las secciones que componen el sistema, la implementación se realiza con equipamiento eléctrico electrónico de fácil adquisición al igual que el software empleado. Como criterio básico para la implementación se consideraron básicamente los siguientes puntos.

- Adaptación a los parámetros de diseño
- Facilidad de adquisición de equipos y bajo coste
- Facilidad para la implementación del sistema
- Facilidad para el mantenimiento del sistema
- Compatibilidad con semáforos existentes

3.7.4.1 IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR Y SEMÁFORO

3.7.4.1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

Según los requerimientos de diseño, se diseñó el controlador semafórico con equipamiento de la marca Schneider Electric. Este está constituido por los

siguientes elementos.

- Tablero Eléctrico Mural TOTEN IP66 – 400x300x200 mm
- Relé Inteligente Zelio Logic SR3 B101BD
- Fuente de Alimentación 24VDC ABL8MEM24012
- Módulo de Comunicación Ethernet SR3 NET01BD
- Módulo de Comunicación Modbus SR3 MBU01BD
- Llave termo magnética de 1x2Amp
- Llave termo magnética de 1x8Amp
- Accesorios para armado (Canaleta Ranurada, borneras, cable SIS, terminales, etc.)

3.7.4.1.1.1 TABLERO ELÉCTRICO MURAL TOTEN IP66 – 400X300X200 MM

El tablero eléctrico fue seleccionado en función al medio ambiente donde será instalado, ya que las condiciones climáticas son bastante severas en la ciudad de Puno, sobre todo en temporada de lluvia se tiene bastante humedad y contacto directo con el agua, es por ello el tablero seleccionado cuenta con una protección IP66, el cual proteger a los equipos electrónicos instalados en su interior contra el polvo y el agua. En el gráfico 10 se puede observar una imagen del tablero, las características de este tablero son los siguientes:

- Tablero modular construido en plancha y perfiles de Acero laminado en frío.
- La puerta abre 130°, configurable a la derecha o izquierda.
- Soporta 50kg de capacidad de carga.
- Cumple con IEC60529, EN60529/10.91 y estándar GB4208-93
- Medidas: 400x300x200mm

- Protección: IP66
- Color: RAL7032
- Color de Placa de Montaje: RAL2000
- Panel de montaje: 2.5mm
- Puerta frontal 2.00mm
- Armazón 1.5mm
- Otros 1.2mm

Gráfico 10 : Tablero Eléctrico TOTEN IP66



Fuente: (TOTEN, 2016)

3.7.4.1.1.2 RELÉ INTELIGENTE ZELIO LOGIC SR3 B101BD

La selección del controlador fue uno de los aspectos críticos y analizados con mayor detalle en el proyecto, ya que se tenían bastantes opciones de selección, no obstante se cuidó en todo momento los detalles de diseño, es por ello que de primera mano se descartó la posibilidad de utilizar un PLC, aunque nos facilitaría el tema de la integración de comunicación y elaboración del programa no obstante el costo sería elevado y no se aprovecharían al máximo todas sus capacidades, es por ello que en vez de un PLC se decidió emplear un Relé Inteligente o en algunos casos llamado también micro PLC, este se ajusta

perfectamente a lo requerido en el diseño y a un costo accesible. Sin embargo el rele seleccionado por si solo no cuenta con módulo de comunicación y suficientes puertos de E/S, es por ello que más adelante se seleccionaron modulos de expansión según lo requerido. A continuación se muestran las principales características del relé inteligente de Schneider Electric SR3 B101BD

| | |
|---|--|
| Gama de producto | Zelio Logic |
| Tipo de producto o componente | Reles inteligente modular |
| Visualización local | Si |
| Número de líneas de esquema de control | 0...500 con FBD programac 0...240 con Ladder programac |
| Tiempo de ciclo | 6...90 ms |
| Tiempo de backup | 10 años en 25 °C |
| [Us] tensión de alimentación nominal | 24 V |
| Corriente de alimentación | 100 mA (con extensiones) 100 mA (sin extensión) |
| Voltaje entrada | 24 V CC |
| Número de entrada analógica | 4 |
| Rango de entrada analógica | 0...10 V 0..0,24 V |
| Tensión máxima admisible | 30 V (circuito entrada analógica) |
| Resolución de entrada analógica | 8 bits |
| Número de salidas | 4 relé salidas |
| Límites de tensión de salida | 24..0,250 V AC (salida del relé) 5..0,30 V CC (salida del relé) |
| Tipo de contactos y composición | NA para salida del relé |
| Corriente térmica de salida | 8 A para as 4 salidas (salida del relé) |
| Durabilidad eléctrica | 500000 ciclos AC-12 en 230 V, 1.5 A para salida del relé de acuerdo con EN/IEC 60947-5-1 |

Gráfico 11 : Relé inteligente Zelio Logic SR3 B101BD



Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24VDC ABL8MEM24012

Según el requerimiento de diseño la alimentación principal debería de ser 220VAC, ya que el relé inteligente tiene como alimentación 24VDC, surge la necesidad de equiparlo con una fuente de alimentación de entrada 220VAC y salida de 24VDC, para esto se eligió la fuente propietaria de la marca schneider eléctrico ABL8MEM24012, a continuación se muestra sus principales características

| | |
|--|--|
| Tipo de producto o componente | Alimentación |
| Tipo fuente de alimentación | Modo de encendido regulado |
| Tensión de entrada | 100...240 V AC fase a fase, terminal(es): L1-L2 100...240 V AC monofásica, terminal(es): N-L1 120...250 V CC |
| Tensión de salida | 24 V CC |
| Potencia nominal en W | 30 W |
| Tipo de protección de entrada | Fusible integrado (no intercambiable) |
| Corriente de salida de alimentación | 1.2 A |
| Tipo de protección de salida | Contra cortocircuitos |
| Temperatura ambiente de funcionamiento | -25...55 °C without 55...70 °C con |

Gráfico 12 : Fuente de Alimentación Schneider Electric ABL8MEM24012



Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.4 MÓDULO DE COMUNICACIÓN ETHERNET SR3 NET01BD

Para la comunicación e integración en una red de los controladores, estos requieren que posean un medio físico de comunicación, ya que el relé inteligente por sí solo no tiene la capacidad de comunicación, para lograr esta función se agrega el módulo de comunicación, en este caso en Ethernet, el modulo en la marca Schneider es el SR3 NET01BD, el cual da la capacidad de comunicación bajo esta arquitectura al controlador, a continuación se detalla algunas características principales.

| | |
|-------------------------------------|---|
| Rango de producto | Zelio Logic |
| Producto o tipo de componente | Módulo de comunicación Ethernet |
| Compatibilidad del producto | Todos los módulos con alimentación de 24 V SR3 B ... BD |
| Protocolo de puerto de comunicación | Ethernet |
| Soporte de puerto de comunicación | 10 / 100BASE-T |
| conexión eléctrica | 1 conector RJ45 |
| lenguaje de programación | FBD |
| Señalización local | 1 LED para la comunicación (LK / ACT 10/100) 1 LED de estado (STS) |
| Peso del Producto | 0,11 kg |

Gráfico 13 : Módulo de Comunicación Ethernet SR3 NET01BD

Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.5 MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS SR3 MBU01BD

Similar a la sección anterior para que el controlador cuente con la comunicación en el protocolo Modbus, se requiere el modulo para este fin, para ello se adicional al relé inteligente le módulo SR3 MBU01BD, el cual se encarga de gestionar la comunicación Modbus del controlador, a continuación se detallan sus principales características.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Rango de producto | Zelio Logic |
| Producto o tipo de componente | Módulo de comunicación esclavo Modbus |
| Modo de cableado | 2 ó 4 hilos |
| Compatibilidad del producto | Todos los módulos con alimentación de 24 V SR3 B ... BD |
| Protocolo de puerto de comunicación | Modbus |
| Soporte de puerto de comunicación | RS485 |
| conexión eléctrica | 1 conector RJ45 |
| Marco de transmisión | ASCII RTU |

| | |
|--------------------------|--|
| Velocidad de transmisión | 1200 baudios 57600 baudios 38400 baudios 9600 baudios 4800 baudios 2400 baudios 19200 baudios 28800 baudios |
| lenguaje de programación | FBD Escalera |
| Señalización local | 1 comunicación LED 1 LED de encendido |
| Peso del Producto | 0,24 lb (US) (0,11 kg) |

Gráfico 14 : Módulo de Comunicación Modbus SR3 MBU01BD



Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.6 MÓDULO DE EXPANSIÓN E/S SR3 XT101BD

Según el requerimiento de diseño, se debe de tener ocho salidas como mínimo, ya que el relé inteligente seleccionado solo contiene 4 salida, surge la necesidad de ampliar el módulo de E/S del controlador, para ello se considera adicionar el módulo de expansión SR3XT101BD, a continuación se muestra sus principales características.

| | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Rango de producto | Zelio Logic |
| Producto o tipo de componente | Módulo de extensión de E / S discreta |

| | |
|--|--|
| Número o líneas del esquema de control | 120 con programación de escalera |
| [Us] tensión de alimentación nominal | 24 V DC |
| Límites de tensión de alimentación | 19,2 ... 30 V |
| Número de entrada discreta | 6 según EN / IEC 61131-2 tipo 1 |
| Tensión de entrada discreta | 24 V DC |
| Compatibilidad de entrada | Sensores de proximidad de 3 hilos PNP (entrada discreta) |
| Número de productos | 4 salida (s) de relé |
| Límites de tensión de salida | 24 ... 250 V CA (salida de relé) 5 ... 30 V CC (salida de relé) |
| Tipo de contactos y composición | Salida de relé NO |
| Corriente térmica de salida | 8 A para las 4 salidas (salida de relé) |
| Durabilidad eléctrica | 500000 ciclos 230 V, 0,9 A (AC-15) para la salida de relé según EN / IEC 60947-5-1 |

Gráfico 15 : Módulo de Expansión E/S SR3 XT101BD



Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.7 LLAVE TERMOMAGNÉTICA

Las llaves termomagnéticas cumplen la función de protección ante posibles cortocircuitos o sobrecarga de los circuitos, de acuerdo a los parámetros de diseño requerimos la instalación de 02 llaves termomagnéticas, a continuación calcularemos el amperaje requerido a cada uno de ellos.

Calculo Para Llave Termomagnética del Circuito de Control

Partiendo de la ecuación

$$P = U \times I \quad \dots(\text{Ec } 34)$$

Potencia es igual a tensión por corriente, despejamos I (corriente) y nos da:

$$I = P / U \quad \dots(\text{Ec } 35)$$

Ahora bien, sabemos que la tensión U es 220 V y la potencia de consumo está dado por la potencia de consumo de la fuente de alimentación de 24VDC la cual consume una potencia de 30 W, entonces

$$I = 30 / 220 \quad \dots(\text{Ec } 36)$$

$$I=0.13 \text{ Amp} \quad \dots(\text{Ec } 37)$$

Entonces, seleccionamos un valor comercial de llave termomagnética que va ser en la marca Schneider Electric - A9F74101, a continuación se detallan su características.

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Device application | Distribution |
| Range | Acti 9 |
| Product name | Acti 9 iC60 |
| Product or component type | Miniature circuit-breaker |
| Device short name | IC60N |
| Poles description | 1P |
| Number of protected poles | 1 |
| [In] rated current | 1 A |
| Trip unit technology | Thermal-magnetic |
| Curve code | C |

Calculo Para Llave Termomagnética del Circuito de Fuerza

Similarmente al cálculo realizado anteriormente, se tiene según los

requerimientos de diseño, cada salida deberá de constar con una potencia de salida máxima de 300W, y debido a que mínimamente se tiene 8 salidas para el controlador, entonces se tiene una potencia total $P = 300 \times 8 = 2400W$, en consecuencia la corriente que deberá de soportar la llave termomagnética será:

$$I = P / U \quad \dots(\text{Ec } 38)$$

$$I = 2400 / 220 \quad \dots(\text{Ec } 39)$$

$$I = 10.09 \text{ Amp.} \quad \dots(\text{Ec } 40)$$

Entonces, seleccionamos un valor comercial de llave termomagnética que va ser en la marca Schneider Electric - A9F74110, a continuación se detallan su características.

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Device application | Distribution |
| Range | Acti 9 |
| Product name | Acti 9 iC60 |
| Product or component type | Miniature circuit-breaker |
| Device short name | IC60N |
| Poles description | 1P |
| Number of protected poles | 1 |
| [In] rated current | 10 A |
| Network type | DC AC |
| Trip unit technology | Thermal-magnetic |
| Curve code | C |

Gráfico 16 : Llave termomagnética Schneider Electric - A9F74110



Fuente: (SCHNEIDER E. , 2016)

3.7.4.1.1.8 ACCESORIOS DE CONEXIONADO Y ARMADO DE TABLERO

Para la implementación y armado del controlador semafórico se requieren los siguientes accesorios:

- Riel DIN
- Canaleta Ranurada
- Cable SIS
- Terminales
- Rotulos

Riel DIN: Este accesorio es el encargado de la sujeción al back panel del tablero eléctrico, es una barra de metal normalizada la medida más usada es el simétrico de 35 mm x 7.5 mm (EN 50022, BS 5584, DIN 46277-3, NFC 63015, DIN 3) denominado también TS 35.

Gráfico 17 : Riel DIN



Fuente: (KSS, 2016)

Canaleta Ranurada: Este accesorio es el encargado de organizar el recorrido de los cables en el interior del tablero, la canaleta seleccionada es una de 30x25mm de PVC Ral 7030

Gráfico 18 : Canaleta Ranurada



Fuente: (KSS, 2016)

Cable SIS: Este cable es especialmente usado en circuitos de baja tensión, en operación e interconexión de dispositivos de protección que requieren alta performance de servicio, el cable empleado para el controlador semaforico es el cable Sis de 16AWG color azul para la tensión de 24VDC y negro para 220VAC

Gráfico 19 : Cable SIS



Fuente: (KSS, 2016)

Terminales: Los terminales son accesorios que aseguran el conexionado de los diferentes equipos de control dentro del tablero del controlador semaforico, para ello se empleó los terminales tubulares tipo PIN para cable de 16AWG.

Gráfico 20 : Terminal tipo PIN Tubular**Fuente:** (KSS, 2016)

3.7.4.1.1.9 SENSOR PARA LA DETECCIÓN DE PRESENCIA DE VEHÍCULOS

Existe en el mercado un a infinidad de sensores para la detección de vehículos, para una implementación en campo se recomienda el uso de sensores por Bucles de Inducción, ya que estos son más fiables y tiene una gran precisión a la hora de tomar los datos, el sensor seleccionado para este proyecto es M-Gage **Q7LMEB** de la marca BANNER, es un sensor para la detección del vehículo que ofrece un diseño Flat-Pak (plano) completamente autónomo sin regulador exterior y permite una conexión directa al PLC. Además, el producto detecta exacto la presencia de los objetos enormes del metal tales como coche y los carros aun cuando el objeto es inmóvil. A continuación se muestran sus características principales.

| | |
|-----------------------------|---|
| Supply Voltage | 10 to 30V dc (10% max. ripple) at 43 mA, exclusive of load Above +50° C (+122° F), supply voltage is 10 to 24V dc (10% max. ripple) |
| Sensing Technology | Passive 3-axis magnetoresistive transducer |
| Output Configuration | Two SPST solid-state outputs conduct when object is sensed; Bipolar NPN/PNP |
| Output Ratings | 100 mA maximum (each output) NPN saturation: 0.4V at 10 mA and <2.0V at 100 mA NPN OFF-state leakage current: < 200 microamps PNP saturation: < 1.4V at 10 mA and < 2.5V at 100 mA PNP OFF-state leakage current: < 5 microamps |
| Output Response Time | 20 milliseconds |

| | |
|-----------------------------|---|
| Construction | Housing: E-coated aluminum End Caps: Thermoplastic polyester Circuit board encapsulated with 2-part polyurethane. Housing sealed with adhesive-lined polyolefin heat shrink. |
| Operating Conditions | -40 °C to +70 °C (-40 °F to +158 °F) 100% maximum relative humidity |
| Connections | Shielded 5-conductor (with drain) polyethylene jacketed attached cable or 5-pin Euro-style QD PVC pigtail |
| Environmental Rating | Leak proof design is rated IEC IP69K; NEMA 6P |

Gráfico 21 : Sensor de presencia magnético para Vehículos

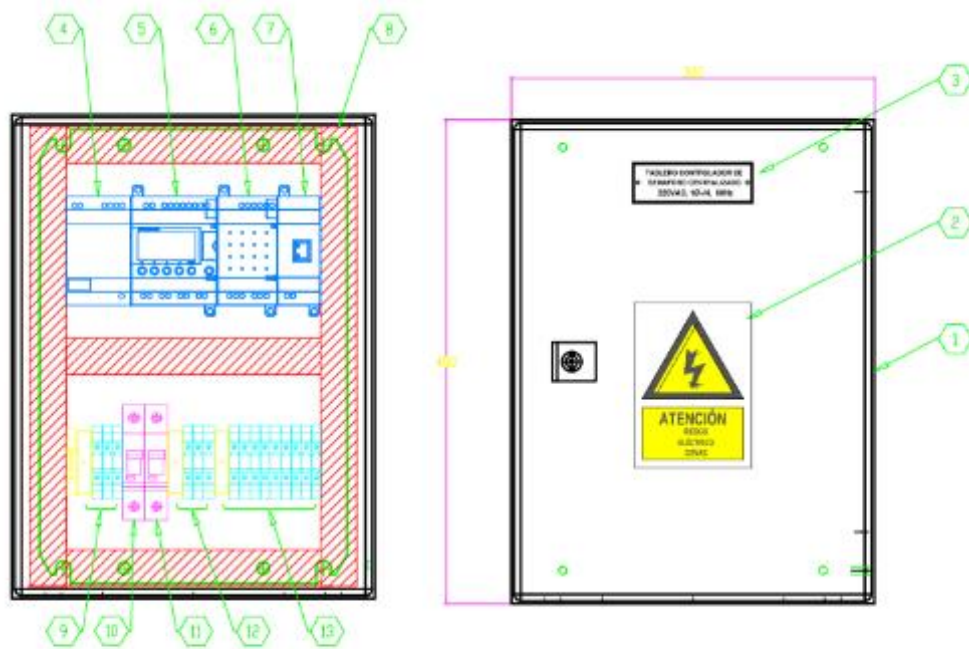


Fuente: (BANNER, 2017)

3.7.4.1.1.10 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

Con los elementos seleccionados de acuerdo a los requerimientos de diseño se procedió a elaborar los planos eléctricos de conexionado y de disposición de elementos para la fabricación y montaje del tablero del controlador semafórico, en el ANEXO A1.1 se muestra dichos planos, en la figura 22 se muestra el arreglo general del montaje del controlador semafórico.

Figura 22 : Arreglo general de montaje del controlador semafórico



| ITEM | DESCRIPCION | U.M. | CANT |
|------|---|------|------|
| 1 | Tablero Eléctrico Mural TOTEN IP66 – 400x300x200 mm | Und | 1 |
| 2 | Rotulo de Riesgo eléctrico en Puerta de Tablero | Und | 1 |
| 3 | Rotulo de Identificación de Tablero | Und | 1 |
| 4 | Fuente de Alimentación 24VDC ABL8MEM24012. | Und | 1 |
| 5 | Relé Inteligente Zelio Logic SR3 B101BD | Und | 1 |
| 6 | Módulo de Expansión E/S SR3 XT101BD | Und | 1 |
| 7 | Módulo de Comunicación Ethernet SR3 NET01BD | Und | 1 |
| 8 | Canaleta Ranurada PVC 30x30mm | Kit | 1 |
| 9 | Bloque de borneras Ingreso de Alimentación | Kit | 1 |
| 10 | Llave termomagnética 1x1Amp señal de control | Und | 1 |
| 11 | Llave termomagnética 1x10Amp alimentación salidas | Und | 1 |
| 12 | Bloque de borneras de Ingreso de señal de Sensores | Kit | 1 |
| 13 | Bloque de borneras de salida para semáforo | Kit | 1 |

Elaboración: Propia

3.7.4.1.11 CONTROLADOR IMPLEMENTADO

Con los elementos de control seleccionado y los planos de construcción elaborados, se procedió al montaje de los dispositivos, para ello primeramente se ubicó los elementos según el plano de disposición de elementos, para que seguidamente se proceda con la perforación y posterior montaje de los equipos, seguido de su conexionado y pruebas de funcionamiento, quedando operativo para la integración al sistema de control, en el gráfico 22 se muestra el resultado de esta implementación.

Gráfico 22 : Controlador Implementado

Elaboración: Propia

3.7.4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SEMÁFORO

El semáforo es el encargado de visualizar las órdenes que dará el sistema al controlador, estas señales finalmente serán visualizadas por el conductor y de esta forma se controlara el tráfico. Según el requerimiento de diseño una de las premisas indicaban que tanto el controlador como el semáforo deberán de ser compatibles con los semáforos ya existente, ya que en muchos casos se podrán usar sus semáforos, es así que esta sección los dividiremos en la siguiente:

- Semáforo LED 3 x 300mm Policarbonato SV3X-300
- Semáforo Peatonal LED 2 x 300mm Policarbonato SP2X-300
- Semáforo Contador Vehicular regresiva de 2 dígitos SC1X-300
- Semáforo Reloj de Arena

3.7.4.1.2.1 SEMÁFORO LED 3 X 300MM POLICARBONATO SV3X-300

Este semáforo es el más común, varias de las intersección en la ciudad de Puno cuentan con este equipo, esta encapsulado en policarbonato de alto impacto resistente a lluvia, sol, humedad, polvo, cambios bruscos de temperatura. Ahorro de energía: consumo de 10 W de potencia por lámpara LED Conexión directa a 220V, se puede usar con cualquier controlador de semáforo: antiguo o moderno o controlador de tráfico inteligente. A continuación se detallan sus características y su correspondiente imagen en el gráfico 23.

- Óptica LED de 300mm (12") Semáforo
- Intensidad por Óptica: 600 y 800 Candelas
- Modular conformado por tres secciones: Rojo, Amarillo y Verde
- Medidas externas: 111 cm x 37 cm x 14 cm (sin visera)
- Material de Encapsulado Policarbonato negro
- Material del Lente Policarbonato Transparente
- Visera tipo semáforo de policarbonato Negro. Med. 32 cm (largo) x 32 cm de diámetro
- Puerta de una pieza de policarbonato con cierre mediante 2 tornillos de bronce
- Empaquetaduras de moldeadas de una sola pieza y que son utilizados para sellar la unión lente puerta y puerta caja
- Encapsulado de alto impacto resistente a lluvia, cambios bruscos de temperatura, bajo peso, color inalterable.
- Grado de Protección IP65 (resistente a lluvia)
- Fabricado según Norma Internacional GB14887-2003
- Ahorro de Energía: 80% a 90%

- Voltaje de Alimentación: 220 VAC

Gráfico 23 : Semáforo LED 3 x 300mm Policarbonato SV3X-300



Fuente: (AUTRONIE, 2016)

3.7.4.1.2.2 SEMÁFORO PEATONAL LED 2 X 300MM POLICARBONATO SP2X-300

Este semáforo al igual que el anterior están fabricados con los mismos materiales, esto es de policarbonato de alto impacto resistente a lluvia, sol, humedad, polvo. La función de estos es la de dar la señales de pase y pare a los peatones que se encuentran en la intersección semaforizada. A continuación se detallan sus características y su correspondiente imagen en el gráfico 24.

- Se instala para indicar el tiempo de Luz Verde y de Luz Roja para cruce peatonal
- Muestra automáticamente el tiempo restante, no necesita un controlador especial.
- Lámparas construidas a base de Diodos Emisores de Luz (LED)
- Modular conformado por dos secciones: Contador e Icono Animado
- Cambia de Color a Rojo y a Verde

- Contador de cuenta regresiva 99 a 0 segundos
- Contador Rojo de cuenta regresiva de dos dígitos y hombre Parado color Rojo
- Contador Verde de cuenta regresiva de dos dígitos y hombre animado color Verde
- 2 Opticas Circulares LED de 300mm (12")
- Medidas externas: 74 x 37 cm
- Material de Encapsulado Policarbonato negro
- Material del Lente Policarbonato Transparente
- Grado de Protección IP65 (resistente a lluvia)
- Voltaje de Alimentación: 220 VAC

Gráfico 24 : Semáforo Peatonal LED 2 x 300mm Policarbonato SP2X-300



Fuente: (AUTRONIE, 2016)

3.7.4.1.2.3 SEMÁFORO CONTADOR VEHICULAR REGRESIVA DE 2 DÍGITOS SC1X-300

Este es un complemento al semáforo, la función de este dispositivo es la de indicar el tiempo restante para el cambio de color de luz, al igual que los equipos anteriores esta hecho de policarbonato resistente a lluvia, sol, humedad, polvo. A continuación se describen sus principales características y su correspondiente

imagen en el gráfico 25.

- Se instala junto al semáforo vehicular para indicar el tiempo de Luz Verde y de Luz Roja.
- Muestra automáticamente el tiempo restante, no necesita un controlador especial.
- Lámparas construidas a base de Diodos Emisores de Luz (LED)
- Modular conformado por una sección
- Cambia de Color a Rojo y a Verde
- Contador de cuenta regresiva 99 a 0 segundos
- Contador Rojo de cuenta regresiva de dos dígitos
- Contador Verde de cuenta regresiva de dos dígitos
- 1 Óptica Circular LED de 300mm (12")
- Medidas externas: 37 x 37 cm
- Material de Encapsulado Policarbonato negro
- Material del Lente Policarbonato Transparente
- Grado de Protección IP65 (resistente a lluvia)
- Voltaje de Alimentación: 220 VAC

Gráfico 25 : *Semáforo Contador Vehicular regresiva de 2 dígitos SC1X-300*



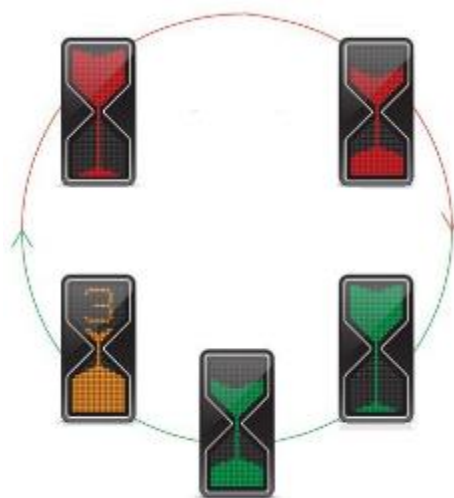
Fuente: (AUTRONIE, 2016)

3.7.4.1.2.4 SEMÁFORO TIPO RELOJ DE ARENA

Debido a que la ciudad de Puno es considerada el segundo destino turístico del país se consideró necesario el desarrollo de un semáforo novedoso y de alguna forma que se ajustara al tiempo y mantenga la armonía en lugares turísticos de la ciudad donde se requiera ser semaforizada.

Es por ello que se desarrolló un semáforo en forma de reloj de arena con tecnología LED de bajo consumo, este semáforo está íntegramente diseñado y fabricado para este proyecto, Este semáforo básicamente está controlado por un micro controlador PIC que gobierna a través de su etapa de potencia las matrices conformador por LED de 3 colores, con lo que con un solo panel se puede visualizar los tres colores que consta un semáforo, es mas ya que cuenta con una matriz de LED se pude visualizar la cuenta regresiva para cada color. Con estas funcionalidades se podrá ahorrar en cuanto al costo total de un semáforo convencional a la vez que será atractivo y novedoso. En el gráfico 26 se muestra el ciclo de funcionamiento del semáforo tipo reloj de arena diseñado

Gráfico 26 : *Ciclo de funcionamiento de semáforo reloj de arena*



Elaboración: *Propia*

Como se muestra en el gráfico 26, cada led de la matriz está compuesta por un LED tricolor, basta solo una pantalla para mostrar los tres colores que contiene el semáforo.

Diseño del semáforo de Arena

Las consideraciones básicas para el diseño de este nuevo modelo de semáforo fueron las siguientes: Semáforo con tecnología LED, compatibilidad con el controlador diseñado para este proyecto, así como para los controladores existentes, colores y pantalla claramente definida, que no causen confusión al conductor, contador regresivo incorporado.

Bajo los criterios básicos considerados, se procedió al diseño de este semáforo, la arquitectura del mismo corresponde a los paneles matriciales de led adecuado a la función de un semáforo. Como sus principales características tenemos:

- Óptica LED de 300mm (12")
- Intensidad por Óptica: 200 Candelas
- Modular conformado por tres colores : Rojo, Amarillo y Verde
- Medidas externas: 30 cm x 20 cm x 14 cm (sin visera)
- Material de Encapsulado Aluminio negro
- Encapsulado de alto impacto resistente a lluvia, cambios bruscos de temperatura, bajo peso, color inalterable.
- Grado de Protección IP55 (resistente a lluvia)
- Ahorro de Energía: 80% a 90%
- Muestra automáticamente el tiempo restante, no necesita un

controlador especial.

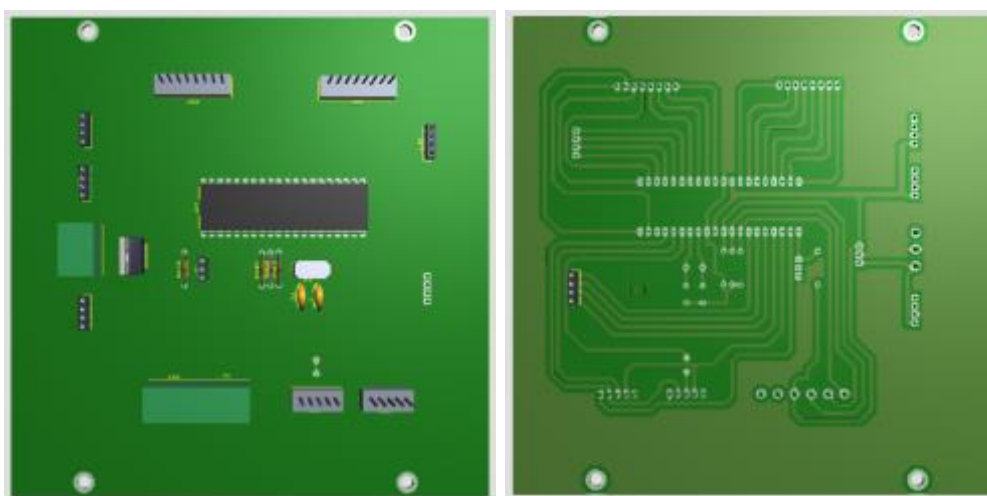
- Voltaje de Alimentación: 220 VAC

Para la implementación del semáforo tipo reloj de arena se dividió en tres tarjetas electrónicas, la primera corresponde al micro controlador PIC 16F877A, el cual lleva el programa desarrollado para este equipos, la segunda tarjeta corresponde a los registro de corrimiento para la luz verde y roja, finalmente la última tarjeta corresponde a las matrices de LED que muestran las indicaciones del semáforo, el plano del arreglo general del circuito del semáforo se muestra en el ANEXO A1.2.

Tarjeta Electrónica de Control

Como se mencionó anteriormente el semáforo tipo reloj de arena se divide físicamente en tres tarjetas electrónicas, esta primera corresponde a la tarjeta de control del semáforo, el dispositivo principal es el Micro controlador PIC 16F877A, en él se grabó el programa que ejecuta la secuencia de manejo de la matriz de LED, en el gráfico 27 se muestra la tarjeta elaborada.

Gráfico 27 : Tarjeta Electrónica de Control del semáforo tipo Arena

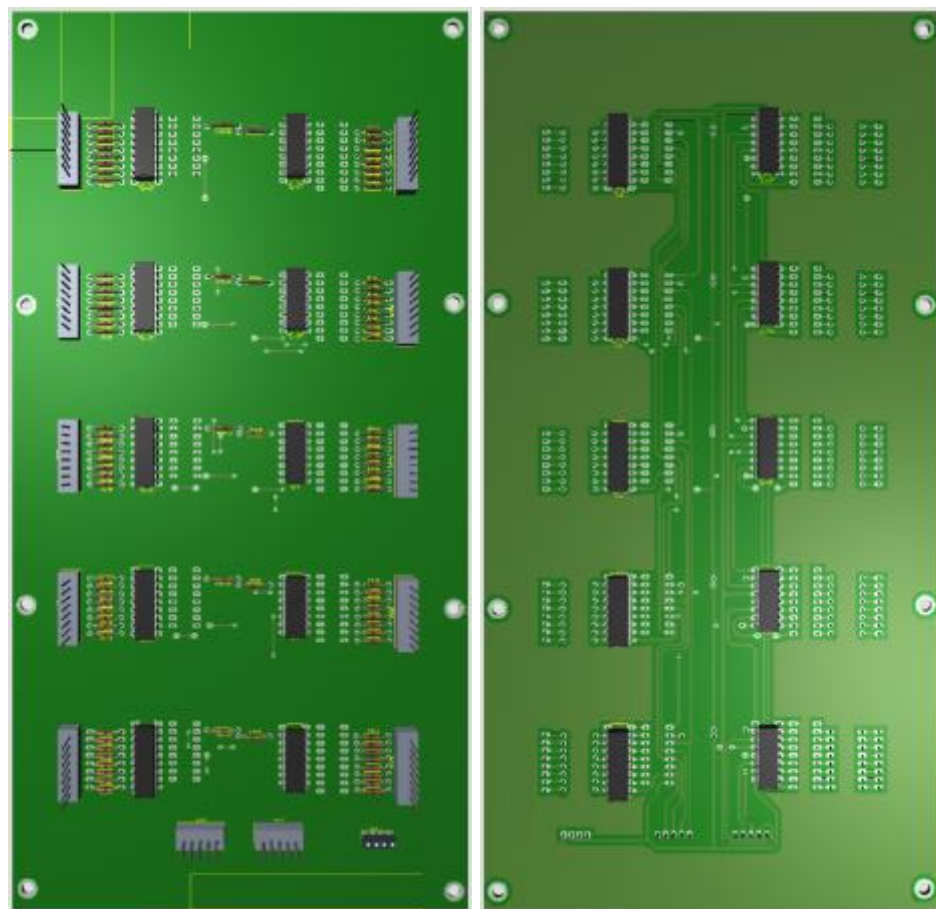


Elaboración: Propia

Tarjeta Electrónica de Registro de Corrimiento

La segunda tarjeta corresponde a los registro de corrimiento para los colores verde y rojo, esto debido a que el Microcontrolador no posee suficientes puertos de entrada / salida para el manejo independiente de la matriz de LEDs ya que si quisiéramos hacerlo de este modo para el desplazamiento vertical requeriríamos 40 puertos de salida por color, por ello para solucionar este problema se envía datos seriales por un puerto para cada color y de esta manera solo se usan 02 puertos, ya que con la activación de ambos se tiene el tercer color del semáforo, el dispositivo principal de esta etapa es el registro de corrimiento 74HC595, en el gráfico 28 se muestra la tarjeta implementada.

Gráfico 28 : Tarjeta Electrónica del Registro de Corrimiento del semáforo tipo Arena

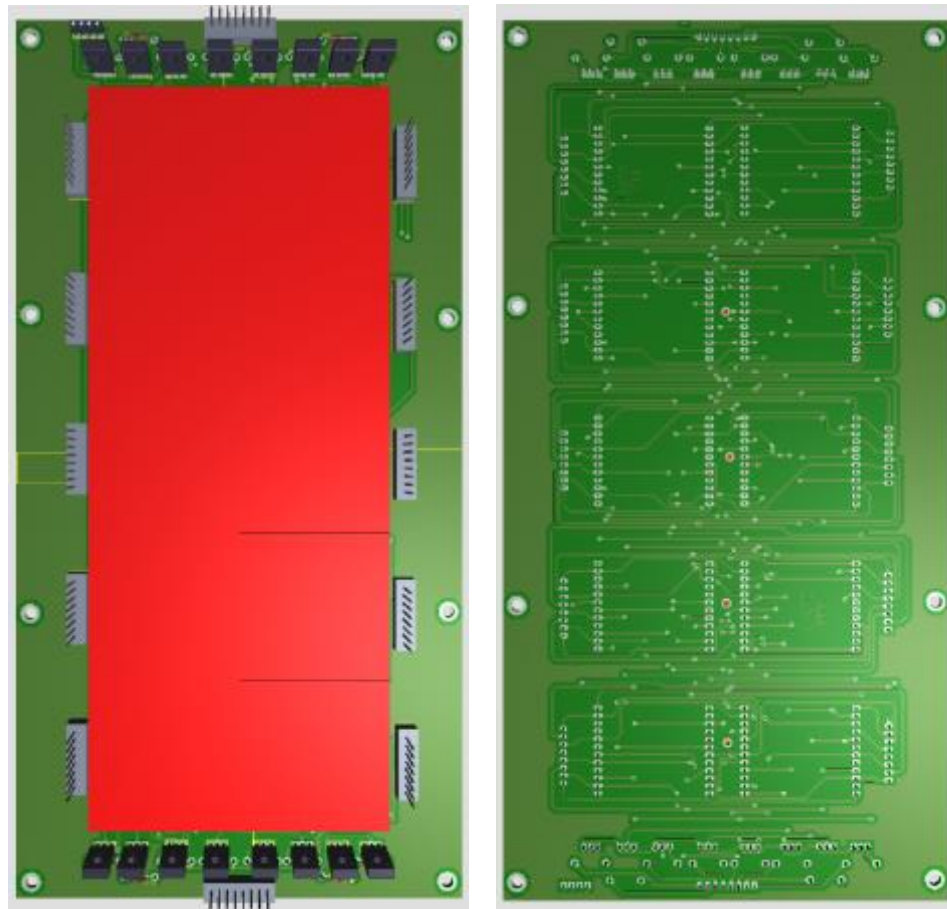


Elaboración: Propia

Tarjeta Electrónica de Matriz de Led

Finalmente tenemos la tarjeta que aloja a las 10 matrices de LEDs de 8x8 Leds tricolor por tarjeta, así mismo en esta tarjeta esta implementada la etapa de potencia para el manejo de los LEDs, en el gráfico 29 se muestra la tarjeta implementada.

Gráfico 29 : Tarjeta Matriz de Leeds del semáforo tipo Arena



Elaboración : Propia

Programa para el semáforo tipo Reloj de Arena

Las tarjetas desarrolladas por si solas no podrían hacer funcionar el semáforo tipo reloj de arena, para ello se desarrolló el programa que controla los elementos electrónicos, este programa fue desarrollado en el compilador para micro controladores CCS – PCHWD - PIC C, la programación del PIC 16F877A es muy

similar para las matrices de LED convencionales, la diferencia radica en que este debe de admitir la información que le envía el controlador de tráfico, es decir los tiempo de verde y rojo, en el gráfico 30 se muestra un extracto del programa desarrollado.

Gráfico 30 : Extracto del Programa desarrollado en compilador PCHW

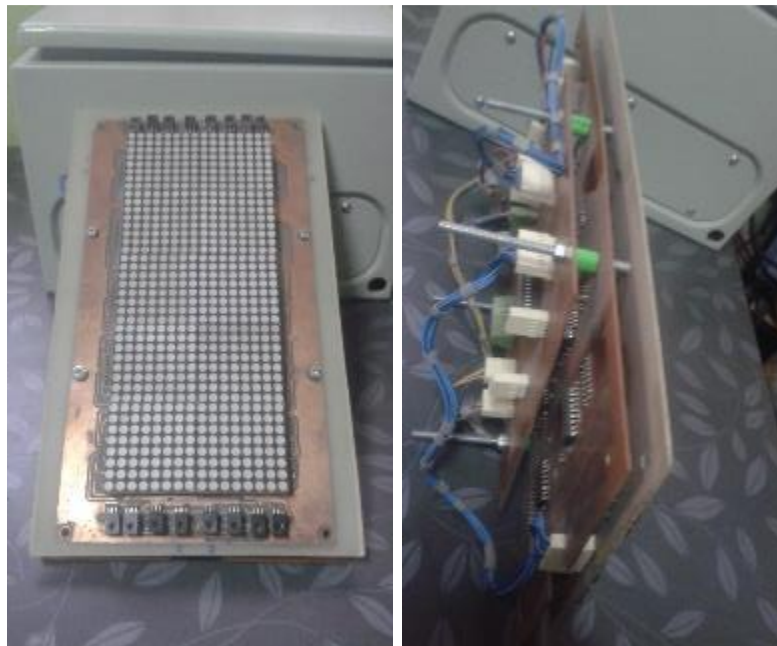
```

33 #DEFINE RED_DATA PIN_A1
34 #DEFINE RED_CLOCK PIN_A0
35 #DEFINE EMAGLE_RD PIN_D0
36 #DEFINE EMAGLE_GR PIN_C1
37 #DEFINE LEDn PIN_C2
38
39 //Funciones-----
40 void sConfigurar_pines(void);
41 void LEDn_estado(void);
42 void RED_led_data(void);
43 //Fin-----
44 void main()
45 {
46     int i,j,k;
47     int s_p, TIME_RED, RE, TIME_GR, TIME_YE, GR, YG;
48     int led[8], PIN_RED[4], PIN_GR[4];
49     const int PORT_E[16] = {255,255,255,255,255,255,255, 137,191,229,256,247,201,253,254}; //data FIELD 254,255,201,247,238,229,191,137,
50     const int PORT_E[16] = {127,193,229,229,247,201,253,254, 256,256,253,255,255,255}; //data FIELD 254,255,201,247,238,229,191,137
51
52     const long long pin[26][16]= // PANEL PRIMEROS 21 CUCUBOS
53     | 10 0 0 4096 4097 4097 4097 16715777 4097 4097 4097 4096 0 0 0 0; //0
54     | 10 0 0 0 4096 4096 4096 16715831 4096 4096 4096 0 0 0 0 0; //1
55     | 10 0 0 2048 4097 4097 16715885 16715885 4096 4096 4096 2112 0 0 0 0; //2
56     | 10 0 0 64 64 64 32832 16715744 32832 64 64 4096 0 0 0 0; //4
57     | 10 0 0 2112 4096 4096 16715885 16715885 4096 4096 4096 3072 0 0 0 0; //5
58     | 10 0 0 4096 4096 4096 16715885 16715885 4096 4096 4096 0 0 0 0 0; //8
59     | 10 0 0 2 2 2 32768 16732377 32768 27 15 0 0 0 0 0; //7
60     | 10 0 0 4096 4096 4096 16715885 16715885 32768 21545 4096 0 0 0 0 0; //6
61     | 10 0 0 2112 4096 4096 16715885 16715885 20448 4096 4096 0 0 0 0 0; //9
62     | 10 0 0 4096 12288 24576 57248 16715885 57248 24576 12288 4096 0 0 0 0; //10
    
```

Elaboración : Propia

Semáforo Tipo Reloj de Arena Implementado

Con las tarjetas electrónicas fabricadas y programa elaborado y cargado en el micro controlador, se realizaron las pruebas de funcionamiento, dando resultados según lo planeado, en el gráfico 31 se muestra una imagen de la implementacion.

Gráfico 31 : *Semáforo Tipo Reloj de Arena Implementado*

Elaboración : Propia

3.7.4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN

Como se indica en los requerimientos de diseño, la arquitectura de comunicación deberá de garantizar la conexión de cada uno de los controladores semafóricos, el mayor reto para cumplir este objetivo está en la adaptación al medio geográfico de la ciudad, ya que tenemos distancias considerables entre los controladores (distancia entre la intersecciones semaforizadas), así como la desigualdad en las construcciones de las calles y viviendas, no obstante a continuación se plantea la mejor solución para garantizar la conexión,

- Topología de la red
- Buses de Campo
- Arquitectura General de comunicación
- Arquitectura de comunicación a ser implementada

3.7.4.2.1 TOPOLOGÍA DE LA RED

La topología seleccionada para el proyecto, como se verá a mayor detalle más adelante, corresponde a una combinación de la topología estrella y de bus, la primera (topología estrella) corresponde al despliegue de troncales y la segunda (topología de bus) corresponde a los controladores semafóricos.

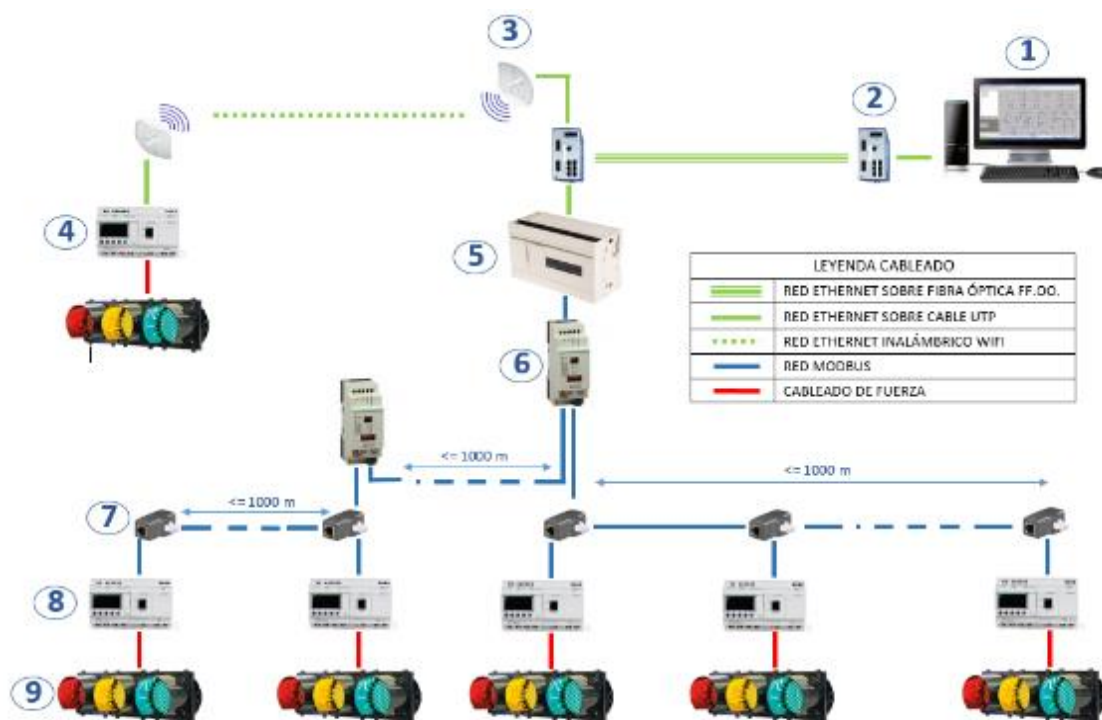
3.7.4.2.2 BUSES DE CAMPO

De acuerdo con las tarjetas de comunicación seleccionada para los controladores semafóricos, tenemos que usar los buses de campo Modbus y Ethernet, el soporte por el cual integraremos será como sigue; para la red Modbus usaremos cable de par trenzado el cual nos da una distancia entre equipos activos de 1000 metros, con lo cual podremos enlazar una ruta troncal sin problemas, para la red Ethernet usaremos cable de par trenzado para distancias menores a 100 metros, para distancia mayores usaremos fibra óptica y en casos puntuales conexión inalámbrica.

3.7.4.2.3 ARQUITECTURA GENERAL DE COMUNICACIÓN

De acuerdo a la selección de topología y bus de comunicación en la sección anterior se realizó la selección de dispositivos de comunicación para la implementación de la red, en la figura 23 se muestra el esquema general de la arquitectura de comunicación.

Figura 23 : Arquitectura de comunicación



Elaboración: Propia

Descripción de elementos

1. Estación de Control
2. Switch – Media converter 0/100 BASE TX: Modelo RSB20, HIRSCHMANN
3. Access Point: Modelo LBE-M5-23 23DBI, UBIQUITI LITEBEAM
4. Controlador Semafórico con Tarjeta de red Ethernet
5. Master de Red Profibus: PLC Modelo TWD LCAE 40DRF, TWIDO
6. Caja de conexiones Tap isolation box, Modelo TWDXCAISO, SCHNEIDER
7. Distribuidor en T de red Modbus: Modelo 170XTS04100, SCHNEIDER
8. Controlador Semafórico con Tarjeta de red Modbus
9. Semáforo

Como se puede apreciar en la imagen de la arquitectura de control, se dispone del uso de dos topologías de red, la estrella y la de bus, así como los buses de campo Modbus y Ethernet, a continuación se explica a mayor detalle.

Red Ethernet sobre Fibra Óptica: Esta red se empleará para comunicar los nodos troncales hacia la estación de control, la cual se realiza a través de fibra óptica, esto debido a que esta red debe de ser lo más estable posible, ya que a este nodo se cuelgan los nodos de los controladores semafóricos de un vía principal, a la vez que se encuentra a distancia considerable siendo el medio físico la fibra óptica, no tendremos inconveniente con la distancia de instalación. Cabe mencionar que los nodos troncales serán instalados en el tramo medio de las vías principales que cruzan la ciudad, en la figura 24 se muestran la clasificación de vías en la ciudad de Puno

Figura 24 : Vías en la ciudad de Puno

Fuente: (CPIT, 2010)

Red Ethernet sobre Cable de par trenzado: Este medio físico será empleado para la conexión de los dispositivos de enlace en la red Ethernet donde se tenga distancia menores a 100 metros, básicamente con este medio se conectara los media converter hacia los equipos terminales, ya sea en la estación de control o a los controladores maestros que se encuentran en los nodos principales, o a los Acceso point de ser el caso.

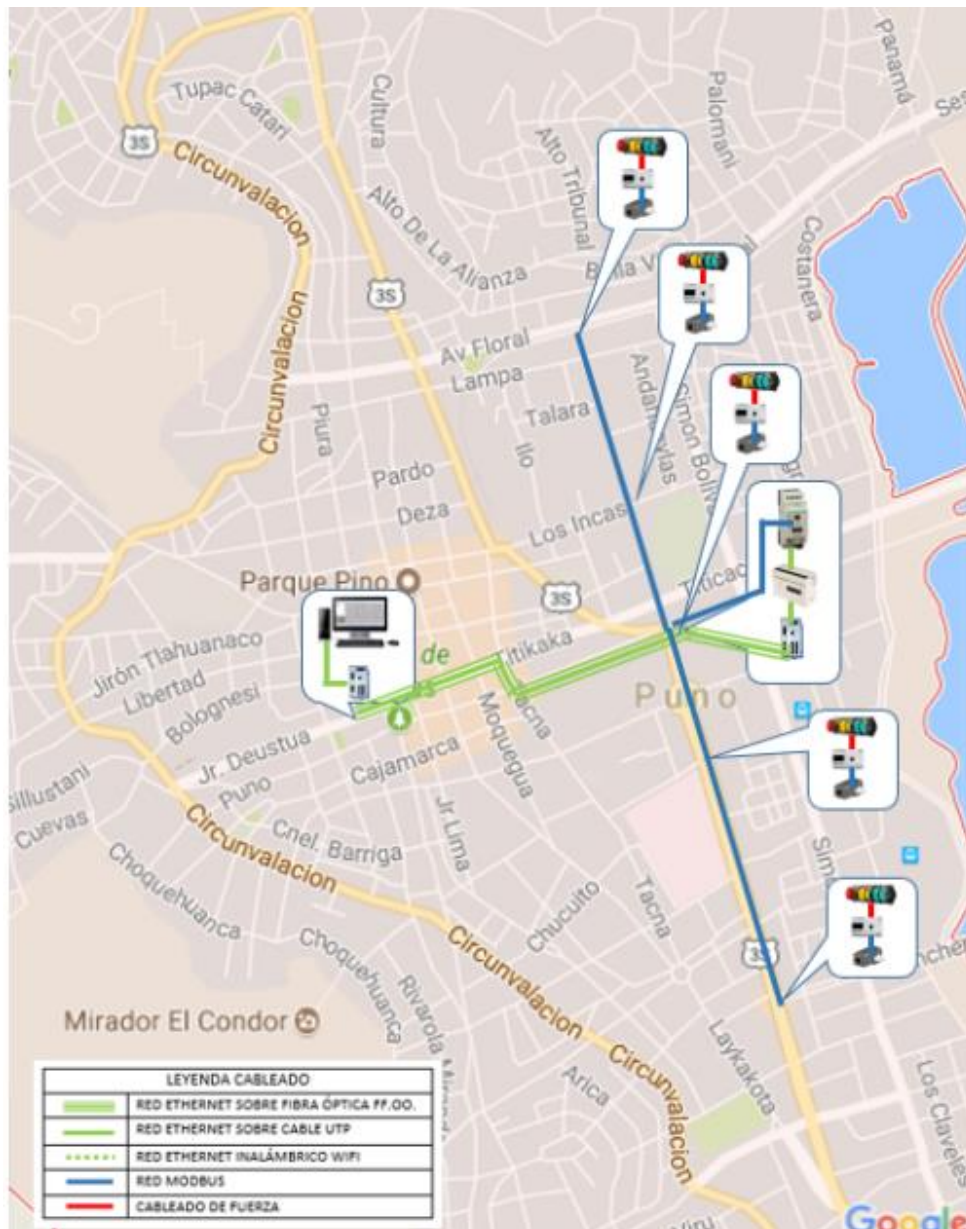
Red Ethernet sobre medios Inalámbricos (Acces Point): En lugares donde el tender cable para conectar a la red sea muy complicado o el costo sea elevado se procederá a conectar el controlador semafórico a la red a través de WIFI mediante Access point, en lo posible se evitara el uso de este medio ya que por encontrarse en un área de dominio público la conexión puede sufrir interferencia y provocar fallas en el funcionamiento.

Red Modbus sobre Cable de par trenzado: La red Modbus se empleara para la conexión de los controladores semafóricos de toda una vía principal hasta el nodo maestro, esto debido a que tiene buen alcance en cuanto a distancia y costo del cableado es relativamente bajo, para distancia mayores a 1000 metros se procede a instalar dentro del controlador un TAP ISOLATION BOX TWDXCAISO, con lo cual podremos extender 1000 metros más, en esta red podremos conectar hasta 32 nodos, lo cual es más que suficiente para las intersecciones que requieren ser semaforizadas por cada vía principal, si se requiere aumentar la cantidad de nodos esclavos se agrega repetidores y se puede tener 247 nodos en total.

3.7.4.2.4 ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN A SER IMPLEMENTADA

Como se vio en la sección anterior la arquitectura general de comunicación para nuestro sistema de control vehicular centralizado, en la figura 25 se muestra la implementación del sistema de comunicación para una de las vías principales, ya que es similar para las demás vías que se consideren necesarias.

Figura 25 : Arquitectura de Red Via Av. El Sol



Elaboración : Propia

3.7.4.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y SISTEMA SCADA

Como última etapa de implementación del proyecto corresponde al sistema de control de tráfico vehicular, con todas las implementaciones realizadas anteriormente ya se tiene casi todas las condiciones para proceder a realizar la integración en un sistema de control.

Básicamente el sistema a través de sus controladores de tráfico centralizado recopilara información del estado del tráfico de todas las vías principales semaforizadas, con ello tendremos datos reales de las condiciones ínsito, tales como: cantidad de flujo vehicular por intersección, tiempo libre al inicio de la secuencia en verde, tiempo libre al final de la secuencia en verde, desfase entre intersecciones semaforizadas, y demás variables que puedan ser necesarios para el funcionamiento del sistema de control.

Con la información recopiladas en una base de datos, se procederá a realizar el análisis de la información, para ello estos datos serán ingresados a una sistema neuro-difuso tipo ANFIS, el cual bajo su razonamiento aproximara el sistema con la información entregada, seguidamente se proyectara los valores de tiempo en verde en función de los tiempos libres finales e iniciales, y cantidad de flujo vehicular que se obtuvieron al momento de la recopilación de datos.

Con los tiempos de temporización de la luz verde y rojo ya calculados, el sistema Scada ingresara este valor en cada uno de los controladores que integra la red de semáforos. Puesto que el corazón del sistema de control es un sistema neuro-difuso surge la necesidad de repetir el proceso por varios días, de tal modo que el sistema identifique correctamente el comportamiento del flujo vehicular y estime los tiempos más óptimos de temporización, no obstante se podrá almacenar el comportamiento del flujo vehicular a los largo del tiempo de funcionamiento del sistema, de este modo se podrá hacer planes de tiempo por días del año e incluso planes por horas durante el día, de acuerdo siempre al comportamiento del tráfico vehicular.

El sistema Scada a parte de llevar el control del sistema de tráfico vehicular, realizará la función de monitoreo, tendrá en su pantalla el estado actual del funcionamiento de todos los semáforos integrados a la red, así mismo tendrá control sobre ellos. Esta sección lo dividiremos en las siguientes áreas para un mejor entendimiento.

- Esquema general de control
- Gestión de datos del sistema (cantidad de vehículos por vía, tiempo libre de vía, tiempo de los semáforos)
- Calculo de los tiempos de temporización (para la luz verde via principal y secundaria, tiempo de desface para generar la ola verde).
- Sistema de control y Scada

3.7.4.3.1 ESQUEMA GENERAL DE CONTROL

El control de tráfico en la Ciudad de Puno en las vías semaforizadas, a la fecha se encuentra controlado por semáforos con temporización fija, lo que los hace un tanto ineficientes, si bien ordena el tránsito y minimiza el riesgo de accidentes de tránsito, no está en su óptimas condiciones de control.

El esquema de control de tráfico centralizado que se plantea en este proyecto trata de integrar todos los controladores de semáforos en una red controlada por un sistema central y este a su vez está constituido por sub sistemas que operan coordinadamente entre sí. Se llama sub sistema a las vías principales o llamadas también corredores viales, estas son las vías principales de la ciudad y por ende son las que tienen bastante tráfico, según el estudio de tráfico encargado por la

municipalidad provincial de Puno, en la tabla 11 se muestra vías que son corredores viales:

Tabla 11 : Corredores viales en la Ciudad de Puno

| TIPO | VÍAS |
|------------------|---|
| Corredor Vial 01 | Av. Juliaca, Av. Circunvalación |
| Corredor Vial 02 | Av. Floral, Av. Sesquicentenario, Av. Chulluni |
| Corredor Vial 03 | Av. El Sol, Av. El Ejército, Vía Panamericana Este |
| Corredor Vial 04 | Av. Simón Bolívar, Av. El Ejército, Vía Panamericana Este |

Fuente: (CPIT, 2010)

Figura 26 : Corredores viales en la ciudad de Puno



Elaboración: Propia

Se tiene 4 corredores viales principales en la ciudad de Puno como se muestran en la figura 26, para nuestro proyecto Tomaremos solo 1 corredor vial, ya que para el resto el tratamiento es similar. Debido a que el mayor volumen del

transporte público va desde y hacia la Universidad Nacional del Altiplano, a la vez que los vehículos de transporte interprovincial tienen que cruzar prácticamente todo el centro de la ciudad, se eligió como ejemplo de aplicación el corredor vial de la Av. el Sol.

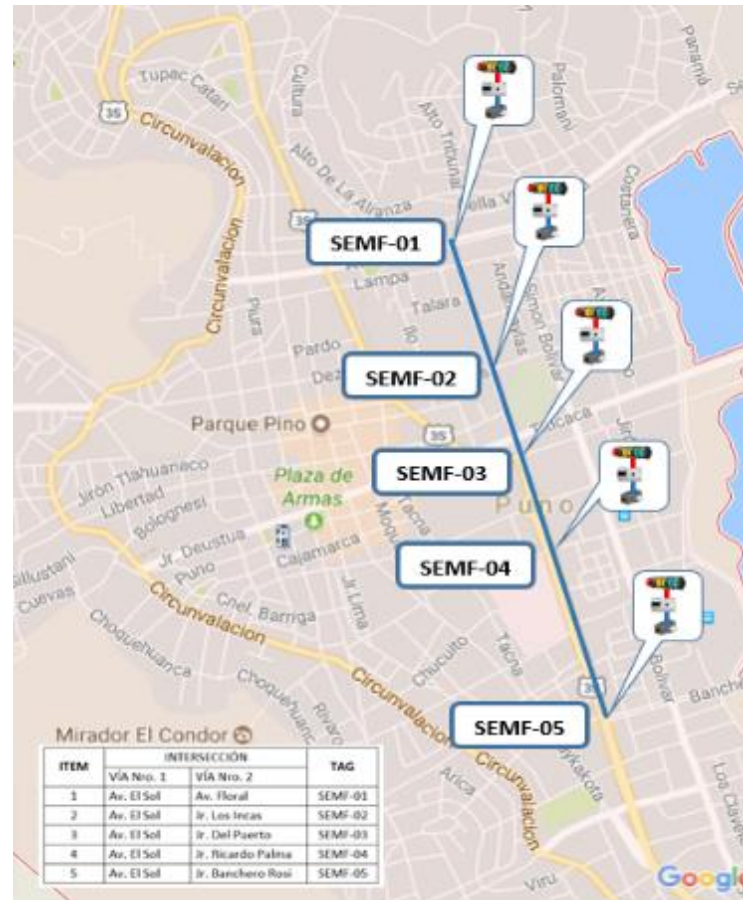
La Av. El Sol actualmente se encuentra semaforizadas, cuenta con 5 semáforos con tecnología LED pero con controladores de temporización fija, en la tabla 12 se listan los semáforos existentes y su punto de ubicación se muestran en la figura 27:

Tabla 12 : Lista de semáforos existentes en la Av. el Sol

| ITEM | INTERSECCIÓN | | TAG |
|------|--------------|-------------------|---------|
| | Vía Nro. 1 | Vía Nro. 2 | |
| 1 | Av. El Sol | Av. Floral | SEMF-01 |
| 2 | Av. El Sol | Jr. Los Incas | SEMF-02 |
| 3 | Av. El Sol | Jr. Del Puerto | SEMF-03 |
| 4 | Av. El Sol | Jr. Ricardo Palma | SEMF-04 |
| 5 | Av. El Sol | Jr. Bancharo Rosi | SEMF-05 |

Elaboración : Propia

Figura 27 : Ubicación de semáforos existentes en la Av. El Sol



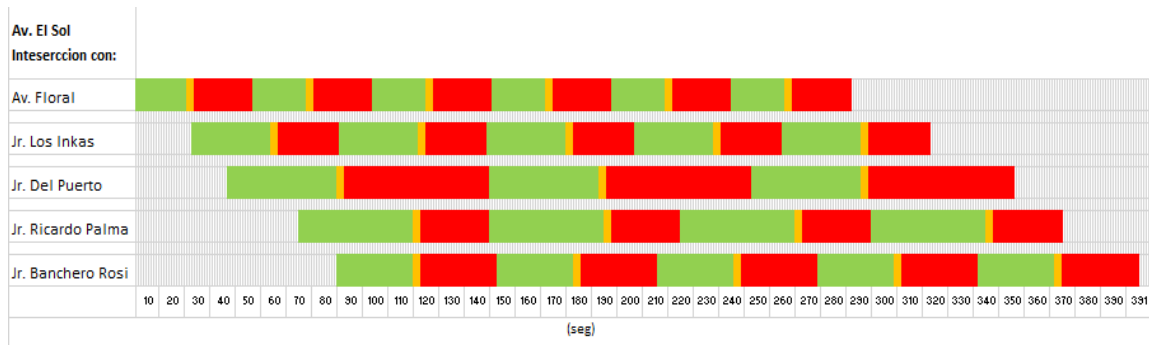
Elaboración : Propia

En primera instancia analizaremos el funcionamiento actual del sistema semafórico con tiempo fijos, para ello se recopiló información de la temporización actual de cada uno de los semáforos existentes en la Av. El Sol, el cual se muestra en la tabla 13.

Tabla 13 : Temporización actual de los semáforos en la Av. El Sol.

| TAG | intersección | | | | Desfase entre Vías |
|---------|--------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|
| | Vía Nro. 1 | T. Verde Vía 1 | Vía Nro. 2 | T. Verde Vía 2 | |
| SEMF-01 | Av. El Sol | 21 Seg. | Av. Floral | 20 Seg. | ---- |
| SEMF-02 | Av. El Sol | 31 Seg. | Jr. Los Incas | 21 Seg. | 23 |
| SEMF-03 | Av. El Sol | 41 Seg. | Jr. El Puerto | 30 Seg. | 15 |
| SEMF-04 | Av. El Sol | 42 Seg. | Jr. Ricardo Palma | 27 Seg. | 28 |
| SEMF-05 | Av. El Sol | 30 Seg. | Jr. Banquero Rosi | 27 Seg. | 15 |

Elaboración : Propia

Figura 28 : Temporización actual de semáforos en Av. el Sol**Elaboración : Propia**

Como se observa en la figura 28, la temporización fija de los semáforos y la mala sincronización de los mismos generan patrones de flujo desordenados y poco predecibles, principalmente se puede observar dos factores que influyen directamente para la generación de la ola verde; El primero corresponde a la temporización en verde de cada uno de los semáforos, estos tiempo son diferentes para cada intersección, lo cual al transcurrir los ciclos de funcionamiento durante el día la previa sincronización establecida al inicio se pierde, el según aspecto corresponde a la sincronización que se tiene para los semáforos, se puede observar que al principio parte con cierta sincronización, con lo cual se puede observar una primera ola verde, pasando varios ciclos de funcionamiento esta sincronización se pierde y se vuelve aleatorio, en conclusión pasado unos ciclos de funcionamiento de la red de semáforos se vuelve completamente aleatorio.

Para generar las olas verdes sincronizadas, se propone que la temporización de cada intersección sea la misma, al igual que el desfase, de tal modo que no se pierda el sincronismo al pasar el tiempo, más adelante se mostrara la forma de obtener estos tiempos para que sean los más óptimos, como ejemplo

supongamos que la temporización en verde que da a la Av. el Sol, sea de 45 Segundos, el tiempo en verde de las vías secundarias de 30 segundos y el desfase 20 Segundos, en la figura 29 se tiene el gráfico de la temporización.

Figura 29 : Temporización de semáforos con tiempos y secuencia coordinada en Av. el Sol.



Elaboración : Propia

Como se puede observar en el gráfico, la secuencia de tiempo se hace más uniforme y predecible, manteniendo la secuencia de ola verde al pasar los ciclos de funcionamiento.

3.7.4.3.2 GESTIÓN DE DATOS DEL SISTEMA

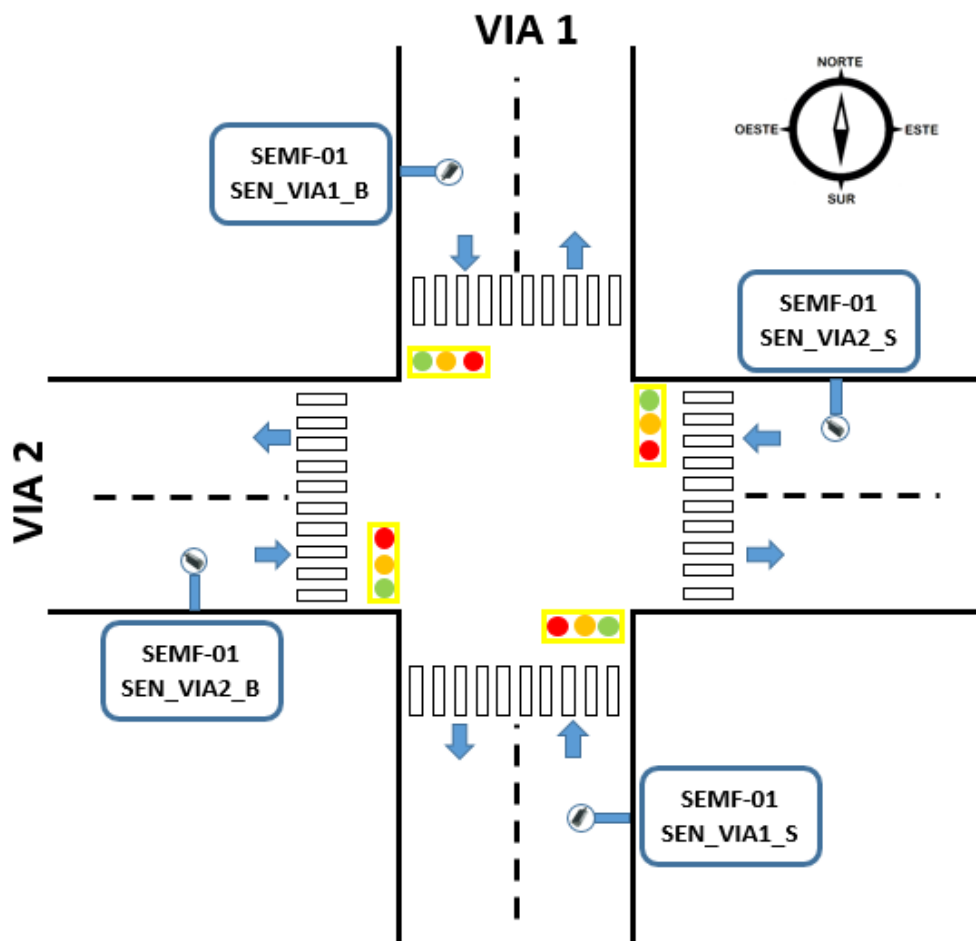
Una de las ventajas de un sistema centralizado respecto a sistema independiente, es la facilidad con la que se puede manipular los datos del sistema, puesto que en nuestro sistema cada uno de los controladores de semáforos se encuentra centralizado, podemos leer y registrar los datos que necesitamos para optimizar los tiempos de temporización, a continuación se listan los datos que se recopilarn por ciclo de funcionamiento de cada intersección semaforizadas.

- **Cantidad de vehículos por vía**
- **Tiempo inicial libre de vía**

- Tiempo final libre de vía
- Tiempo en verde de vía

Se instalarán sensores para contar la cantidad de vehículos por vía, con estos mismos sensores se podrá medir la cantidad de tiempo libre tanto inicial como final de la vía, en el gráfico 32 se muestra el típico de la ubicación y codificación (TAG) de los sensores en una intersección semaforizada.

Gráfico 32 : Intersección semaforizadas con ubicación de sensores



Elaboración : Propia

Como se puede observar en el gráfico 32, en ella se grafica la intersección de dos vía que cuentan con tránsito en ambas direcciones en ambos casos, se

colocara sensores de presencia de vehículos en cada lugar donde se instale un semáforo, para generalizar la nomenclatura de ahora en adelante tenemos:

VIA 1: Vía principal de tránsito, conformada por los corredores viales para nuestro caso de estudio la Av. El Sol.

SEMF-XX: Codificación de la intersección "XX", hace al número de intersección, para nuestro caso SEMF-01 corresponde a la intersección Av. El Sol con Av. Floral

SEMF-XX_SEN-YYYY_Z: Esta codificación corresponde al sensor instalado en la intersección, el primer grupo de símbolo **SEMF-XX** corresponde al número de intersección, la abreviatura **SEN** corresponde a sensor, el siguiente grupo de código **YYYY_Z** corresponde a la identificación del sensor, donde; **YYY** corresponde a la Vía donde se encuentra el sensor y la **Z** corresponde a la dirección del flujo en la vía, (para nuestro caso **B** corresponde a bajada y **S** a subida, llamaremos bajada cuando el flujo vehicular va de Norte a Sur en caso de la Vía 1, para el caso de la Vía 2 será bajada cuando el flujo vehicular va de oeste a este). Para nuestro caso de estudio por ejemplo **SEMF-01_SEN-SOL_B**, este código identifica al sensor que se encuentra en la intersección 01 sobre la Av. El Sol en dirección de bajada.

Es de vital importancia la identificación correcta de cada uno de los sensores a instalarse, esto para que no haya errores al momento de la identificación e

interpretación de datos, esta simbología será la que se va usar en el programa del PLC.

Entonces, con la identificación de los sensores del sistema y la lectura de datos de los mismos, procederemos a almacenar la información en forma ordenada para su tratamiento en la siguiente etapa, la estructura que tendrá la lectura de datos será como la mostrada en la tabla 14.

Tabla 14 : Estructura de lectura de información de un sensor por intersección

| TAG INTERSECCION | TAG SENSOR | INTERSECCION | Trafico Sobre | DIRECCION | TIEMPO VERDE | CANTIDAD DE VEHICULOS | TIEMPO LIBRE INICIAL | TIEMPO LIBRE FINAL |
|------------------|------------|--------------------------|---------------|-----------|--------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| SEMF-01 | SEN-SOL-S | Av. El Sol con Av Floral | Av. El Sol | Subida | 21 Seg. | 3 Und. | 0 Seg. | 10 Seg. |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Elaboración : Propia

En la tabla anterior se observa la estructura con la que se recopilara la información de cada una de las intersecciones semaforizadas, a continuación se detalla cada una de las columnas:

TAG INTERSECCIÓN: Corresponde Al TAG que identifica la intersección.

TAG SENSOR: Corresponde al TAG del sensor del cual se toma la información

INTERSECCION: Corresponde a la descripción de la intersección

TRAFICO SOBRE: Corresponde a la indicación sobre cual va se toma la lectura de información.

DIRECCION: Corresponde al sentido del tráfico que se está tomado la lectura (Subida o Bajada)

TIEMPO VERDE: Corresponde al tiempo de seteo de la luz verde en la dirección de lectura de información

CANTIDAD DE VEHICULOS: Corresponde al conteo de los vehículos.

TIEMPO LIBRE INICIAL: Corresponde a la lectura del tiempo sin flujo vehicular justo cuando se da inicio a la luz verde en la vía que se está tomando lectura

TIEMPO LIBRE FINAL: Corresponde a la lectura del tiempo cuando no se tiene flujo vehicular justo antes de pasar a rojo.

3.7.4.3.3 CALCULO DE LOS TIEMPOS DE TEMPORIZACIÓN

Como se observó en las secciones anteriores, la temporización de los controladores semafóricos influye directamente en el flujo vehicular, si estos están descoordinados y mal programados el flujo vehicular será lento y tendremos tráfico saturado en las vías de circulación, en esta sección se hallara unos tiempo de temporización de acuerdo a un sistema de control neuro-difuso del tipo ANFIS, se obtendrán los siguientes tiempos de programación.

- Tiempo en Verde de la vía principal
- Tiempo en Verde de las vías secundarias
- Tempo de desfase entre intersecciones.

La idea básica para calcular estos tiempos es el uso del software MATLAB, para las técnicas de aprendizaje neuro-difusas es muy simple. Esta técnica provee un método para que el modelamiento difuso aprenda de la información del conjunto de datos, y de acuerdo a esto, computar los parámetros de las funciones de membresía que mejor permitan, al asociado sistema de inferencia

difuso, seguir los datos de entrada / salida.

El Toolbox de Lógica Difusa provee los medios necesarios para generar la estructura de un Sistema de Inferencia Difuso y posteriormente ajustar los parámetros de las funciones de membresía de dicha estructura FIS, para ello se puede acceder a las funciones adecuadas desde la línea de comandos o desde el toolbox de Matlab.

En MATLAB, se toma un conjunto de datos de entrada / salida y mediante la utilización de la sintaxis correcta se construye un Sistema de Inferencia Difuso (FIS) cuyos parámetros son ajustados por el método de propagación hacia atrás o por una combinación de este con un método de optimización. Así se consigue que el sistema difuso aprenda del conjunto de datos a ser modelados generando la estructura ANFIS.

Los parámetros asociados con las funciones de membresía de entrada / salida cambiarán a través del proceso de aprendizaje. El cálculo de estos parámetros se logra por medio de un vector de gradientes, el cual provee una medida de cuan bien el sistema de inferencia difuso está modelando los datos de entrada / salida para un conjunto de parámetros dado. Luego de que un gradiente es obtenido, se aplica usualmente el método de optimización de los mínimos cuadrados definido por la suma de los cuadrados de la diferencia entre la salida actual y el valor deseado.

Este tipo de modelación trabaja bien si los datos presentados a "ANFIS" para

el entrenamiento (estimación) de los parámetros de las funciones de membresía son completamente representativos del comportamiento del sistema que se está tratando de modelar.

MATLAB posee la posibilidad de validar el sistema. La validación del modelo es el proceso por el cual un vector de entrada del conjunto de datos de entrada / salida para el cual el Sistema de Inferencia Difuso no fue entrenado, es presentado al modelo ya entrenado para ver que tan bien predice el correspondiente conjunto de datos de salida.

Un problema con la validación para modelos construidos usando técnicas adaptivas es seleccionar un conjunto de datos que por una parte representen el modelo entrenado que se está tratando de emular y por otra que sean lo suficientemente distintos de los datos de entrenamiento, de tal manera que la validación no sea un proceso trivial.

Desarrollo De La Arquitectura ANFIS

Ahora se procede a diseñar el controlador neuro-difuso usando ANFIS para asignar el tiempo de configuración del sistema semafórico, buscando obtener el máximo flujo vehicular en las vías de tránsito.

Para el entrenamiento del modelo neuro-difuso, que se implementará, las reglas difusas del tipo Takagi-Sugeno se representan de la siguiente forma:

Regla n: Si X es A_n y Y es B_n , entonces $f_n = p_nX + q_nY + r_n$, la arquitectura de las reglas implementadas es una combinación lineal entre los parámetros del

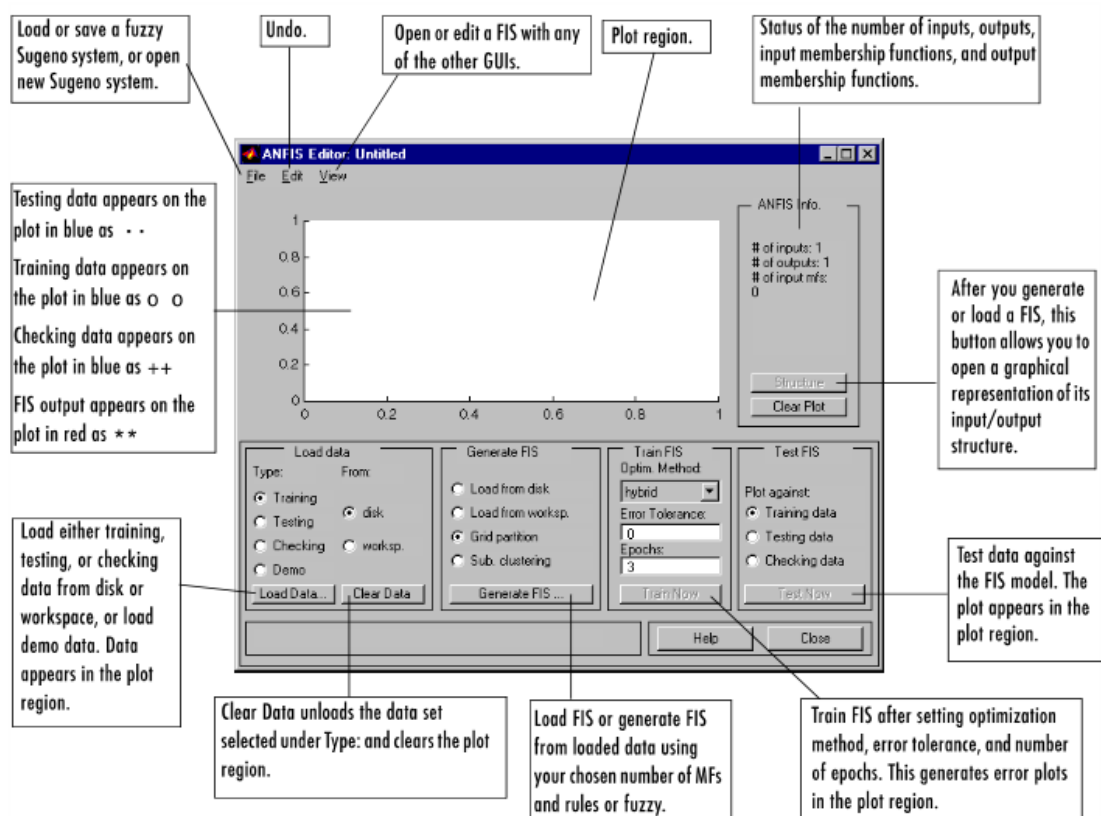
antecedente de cada regla:

$$\text{Regla } n: \text{ Si } X \text{ es } A_n \text{ e } Y \text{ es } B_n, \text{ entonces } f_n = p_n X + q_n Y + r_n, \dots (\text{Ec } 41)$$

Donde A_n y B_n son los conjuntos difusos de entrada y p_n , q_n y r_n son constantes, obteniendo un modelo Takagi-Sugeno de primer orden, para una salida lineal.

MATLAB permite generar un modelo ANFIS utilizando la Línea de comando o mediante el editor ANFIS que es un GUI ya incorporado en el programa.

Gráfico 33 : Estructura de lectura de información de un sensor por intersección



Fuente: (AURINA ARELLANO, 2013)

A partir de esta interfaz gráfica de usuario mostrado en el gráfico 33 se puede:

- Cargar datos (entrenamiento, pruebas y comprobaciones) mediante

la selección de la opción adecuada. Los datos cargados se trazan en la zona de dibujo.

- Generar un modelo FIS inicial o cargar un modelo FIS inicial utilizando las opciones de Generar FIS.
- Ver la estructura del modelo FIS inicial una vez que se ha generado o se ha cargado haciendo clic en el botón estructura.
- Elegir el modelo FIS, los parámetros del método de optimización: backpropagation o una mezcla de backpropagation y mínimos cuadrados (método híbrido).
- Seleccionar el número de épocas de entrenamiento y la tolerancia del error en el entrenamiento.
- Entrenar al modelo FIS haciendo clic en el botón de entrenar. Este entrenamiento ajusta los parámetros de la función de pertenencia y grafica los datos del entrenamiento (y/o pruebas, comprobaciones) y del error.

Se puede utilizar la barra de menú para cargar un archivo de inicialización FIS, guardar los FIS entrenados, abrir un nuevo sistema Sugeno, o abrir cualquiera de las otras interfaces gráficas para interpretar el modelo FIS entrenado.

3.7.4.3.3.1 CALCULO DEL TIEMPO EN VERDE DE LA VÍA PRINCIPAL

Para el cálculo del mejor valor de temporización en verde de la vía principal, primeramente modelaremos el sistema ANFIS, a partir de los datos vistos en la sección 4.4.3.1.2. La estructura de los datos a ingresar para general la estructura

ANFIS para el cálculo de tiempo en verde la vía principal será como la mostrada en la tabla 15.

Tabla 15 : Estructura de datos Para Generar modelo ANFIS de Vía Principal

| ITEM | ENTRADA | | SALIDA |
|------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|
| | CANT. VEHICULOS VIA 1 (UND) | TIEMPO LIBRE FINAL (Seg) | TIEMPO VERDE (Seg) |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| . | | | |
| . | | | |
| 80 | | | |

Elaboración : Propia

Como se puede observar en la tabla, se tienen dos datos de entrada del sistema, los cuales son:

CANT. VEHICULOS VIA 1 (Und): Es la cantidad de vehículos que pasan por la vía en un ciclo de verde del semáforo.

TIEMPO LIBRE FINAL (Seg): Es el tiempo libre de vía que se obtiene antes de finalizar el ciclo en verde.

TIEMPO VERDE (Seg): Es el tiempo en verde programado en el semáforo para la vía principal.

Cabe mencionar que se eligió como entrada la cantidad de vehículos y el tiempo libre de vía debido a que estos dos parámetros no son directamente controlables, ya que depende de las condiciones de circulación vehicular de la ciudad por lo cual son variables dependientes. Como variable de salida de nuestro sistema neuro difuso tenemos el tiempo en verde de la vía en cuestión, a diferencia de los parámetros anteriores esta es una variable independiente y si podemos controlarlo con nuestro sistema.

Se realizó la recopilación de los datos del flujo vehicular a lo largo de la Av. El Sol, el cual se registró y ordeno de acuerdo al esquema de datos mostrados en la tabla 15, los datos completos se muestra en el ANEXO-2.1, en la tabla 16 se muestra un extracto de estos datos.

Tabla 16 : Extracto Parámetros de flujo vehicular en la Av. el Sol

| ITEM | ENTRADA | | SALIDA |
|------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| | CANTIDAD DE VEHICULOS VIA 1 (UND) | TIEMPO LIBRE FINAL (Seg) | TIEMPO VERDE (Seg) |
| 1 | 3 | 0 | 21 |
| 12 | 6 | 13 | 21 |
| 21 | 5 | 20 | 31 |
| 31 | 3 | 24 | 31 |
| 41 | 10 | 0 | 31 |
| 57 | 8 | 0 | 31 |
| 67 | 5 | 20 | 41 |
| 77 | 6 | 0 | 41 |
| 87 | 11 | 11 | 41 |
| 97 | 7 | 25 | 41 |
| 106 | 15 | 9 | 42 |
| 116 | 12 | 0 | 42 |
| 126 | 13 | 0 | 42 |
| 136 | 10 | 10 | 42 |
| 146 | 9 | 0 | 30 |
| 156 | 9 | 0 | 30 |
| 166 | 8 | 0 | 30 |
| 177 | 5 | 17 | 30 |
| 178 | 8 | 0 | 30 |
| 179 | 5 | 25 | 30 |
| 180 | 8 | 13 | 30 |

Elaboración : Propia

Generaremos una estructura FIS de tipo Sugeno con partición por rejilla de datos, que se utiliza como condición inicial (inicialización de los parámetros de la función de pertenencia) para el entrenamiento ANFIS.

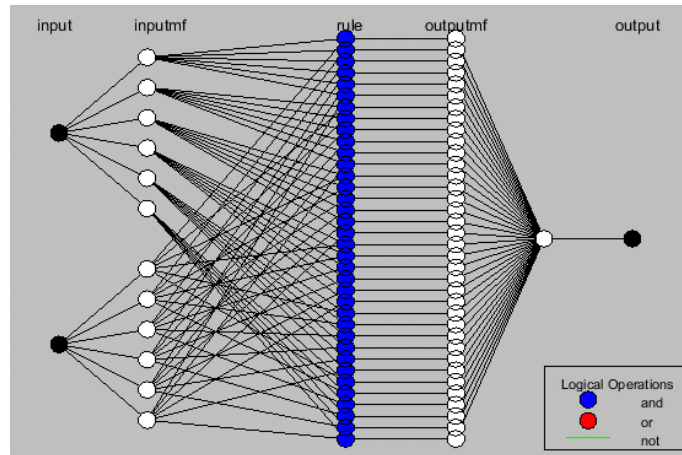
Utilizaremos como matriz (data) los datos recopilados en campo que se

encuentran en la tabla tabla 16; se escogió 6 funciones de membresía para cada entrada de tipo campana de Gauss y una función lineal para la salida. Una vez generada la estructura FIS se utilizará el comando `anfis` para el entrenamiento de la misma.

ANFIS es la sintaxis de la rutina de entrenamiento para sistemas de inferencia difusos de tipo Sugeno. ANFIS utiliza un algoritmo de aprendizaje híbrido para identificar los parámetros de los sistemas de inferencia difusos tipo Sugeno. Se aplica una combinación del método de mínimos cuadrados y el método del gradiente descendiente de retro propagación para entrenar los parámetros de las funciones de membresía de la estructura FIS y así emular la conducta de los datos de entrenamiento. ANFIS también puede invocarse mediante un argumento opcional para la validación del modelo.

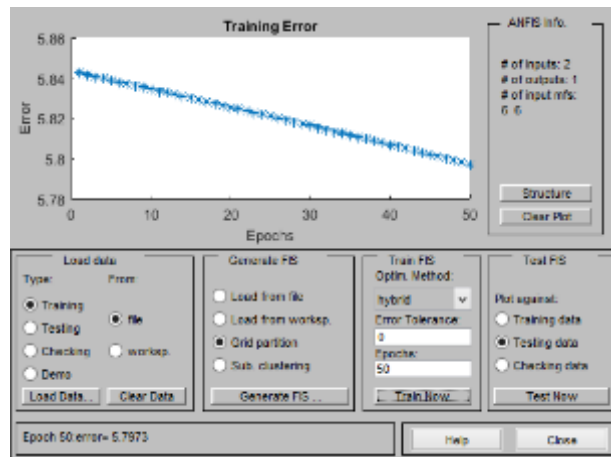
Esta función al igual que la utilizada para generar la estructura FIS utilizará como matriz de entrenamiento los datos recolectados en campo previamente ordenados, se configura el vector para 50 épocas de entrenamiento, un error de entrenamiento de 0, un tamaño de paso de 0.01, una razón de decrecimiento del tamaño del paso de 0.9 y una razón de crecimiento del tamaño del paso de 1.1. Con los datos mencionados se obtiene la estructura ANFIS mostrada en la figura 3-32.

Figura 30 : Estructura ANFIS entrenada para la Vía principal



Elaboración : Propia

Figura 31 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS Vía principal

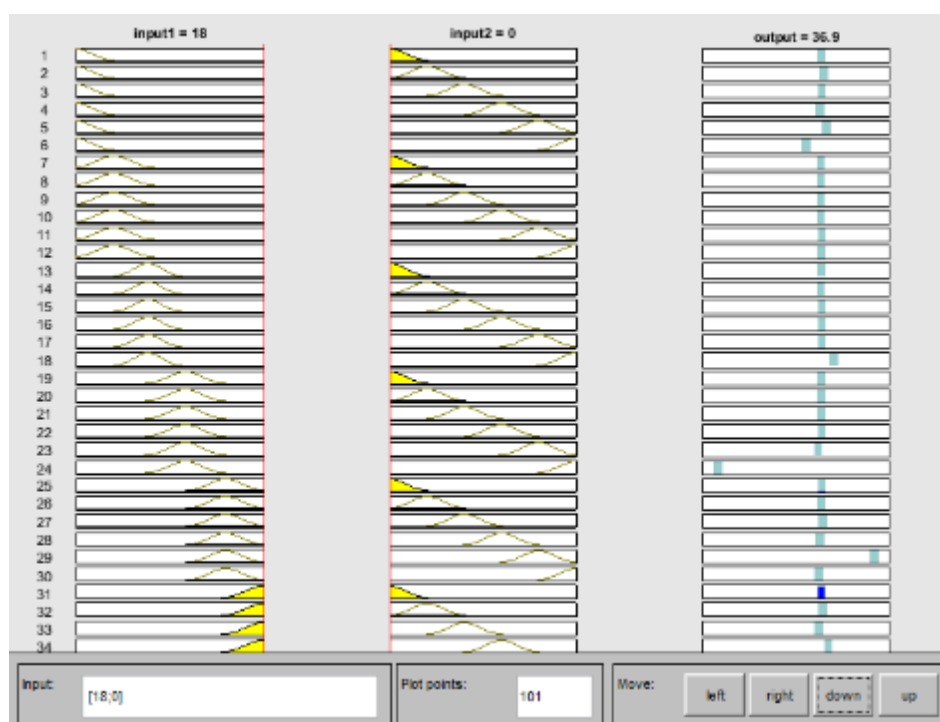


Elaboración : Propia

Ahora la estructura ANFIS generada tendrá la información suficiente en sus 5 capas para poder ser evaluada ante un conjunto de datos representativos del sistema en estudio y así poder alcanzar la meta de lograr el máximo flujo vehicular en la Av. el Sol, sin embargo en el entrenamiento del sistema se obtuvo un error de 5.79 aproximadamente como se observa en la figura 31, esto debido al comportamiento propio del sistema de tráfico vehicular que se quiere modelar, ya que este es bastante aleatorio y disperso, pero aun así el sistema hallado es bastante representativo.

Para hallar el tiempo en verde de la vía principal, que en este caso es la Av. el Sol. Ingresaremos como primer dato el máximo flujo vehicular registrado el cual es 18 Vehículos según la tabla 16, el segundo dato corresponde al tiempo libre de vía al finalizar el ciclo en verde, para un caso optimo este valor deberá de ser 0 Seg. Ya que la idea es tener constante mente el flujo vehicular y no tener tiempo libre en la vía, ingresado estos datos al sistema ANFIS construido, nos da el primer valor óptimo de temporización en verde de la AV. El Sol. El proceso de entrenamiento del sistema continuara conforme se recopile información del sistema, claro está que esto se podrá realizar cuando el sistema este implementado, lo cual para el presente proyecto no será posible, sin embargo con estos primeros datos más adelante podremos hacer simulaciones y comprobar los primeros resultados de este sistema de control.

Figura 32 : *Calculo de tiempo en verde de vía principal*



Elaboración : *Propia*

La respuesta que da el sistema para un flujo vehicular de 18 vehículos y un

tipo libre 0, como se muestra en la figura 32, se tiene una temporización en verde de la vía principal de 36.9 Segundo, es así que este valor se tendrá que ingresar en los controladores para la luz en verde que da a la Av. El Sol

$$T_{\text{verde Av. el Sol}} = 37 \text{ Seg.} \quad \dots(\text{Ec } 42)$$

3.7.4.3.3.2 CALCULO DEL TIEMPO EN VERDE DE LA VÍA SECUNDARIA

Similar a los cálculos realizados en la sección anterior, se procederá para el cálculo del tiempo en verde de la vía secundaria, para ello se tomó datos en campo para esta vía, los cuales fueron registrados de acuerdo a la estructura establecida, estos datos se muestran en el ANEXO-2.2, en la tabla 17 se muestra un extracto del mismo.

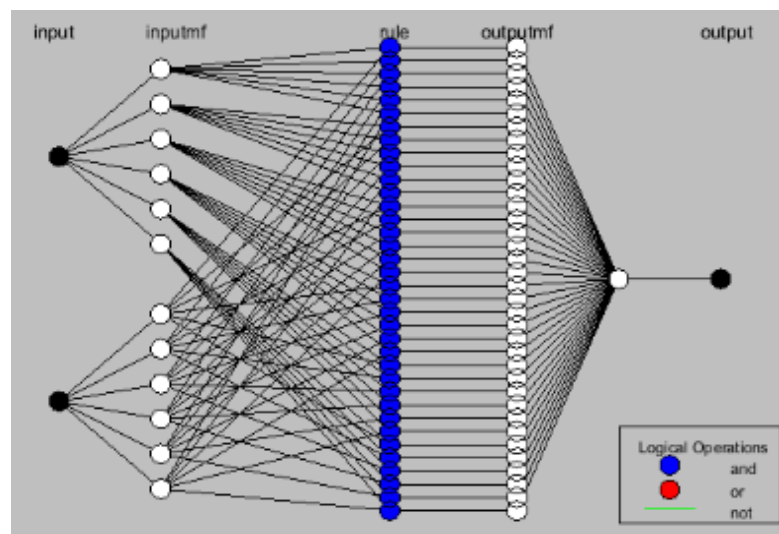
Tabla 17 : Extracto de Flujo Vehicular en vías secundarias

| ITEM | ENTRADA | | SALIDA |
|------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| | CANTIDAD DE VEHICULOS VIA 2 (UND) | TIEMPO LIBRE FINAL (Seg) | TIEMPO VERDE (Seg) |
| 1 | 2 | 0 | 20 |
| 11 | 6 | 0 | 20 |
| 21 | 8 | 0 | 20 |
| 31 | 14 | 0 | 20 |
| 40 | 2 | 13 | 21 |
| 50 | 1 | 0 | 21 |
| 61 | 9 | 10 | 31 |
| 71 | 9 | 0 | 30 |
| 82 | 10 | 0 | 30 |
| 93 | 14 | 0 | 30 |
| 104 | 15 | 0 | 30 |
| 115 | 15 | 0 | 30 |
| 126 | 15 | 0 | 30 |
| 147 | 12 | 0 | 30 |
| 168 | 14 | 0 | 30 |
| 180 | 12 | 0 | 30 |

Elaboración : Propia

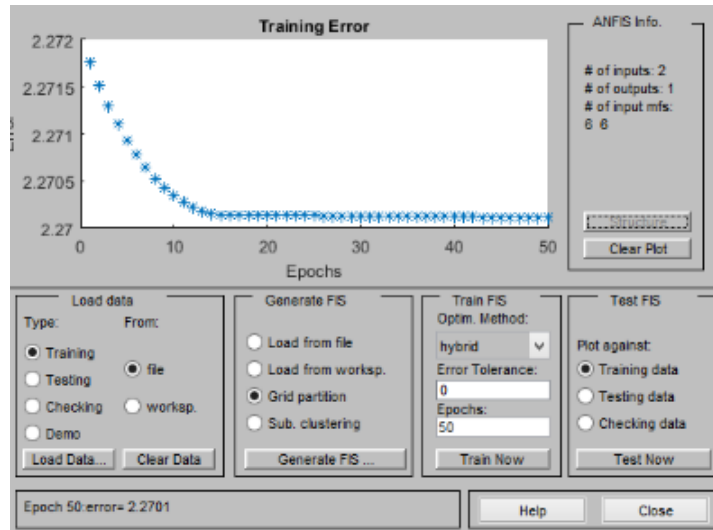
Utilizaremos como matriz (data) los datos recopilados en campo que se encuentran en la tabla 17 para generar la estructura FIS; se escogió 6 funciones de membresía para cada entrada de tipo campana de Gauss y una función lineal para la salida. Una vez generada la estructura FIS se utilizará el comando ANFIS para el entrenamiento de la misma. Esta función al igual que la utilizada para generar la estructura FIS utilizará como matriz de entrenamiento los datos recolectados en campo previamente ordenados, se configura el vector para 50 épocas de entrenamiento, un error de entrenamiento de 0, un tamaño de paso de 0.01, una razón de decrecimiento del tamaño del paso de 0.9 y una razón de crecimiento del tamaño del paso de 1.1. Con los datos mencionados se obtiene la estructura ANFIS mostrada en la figura 33.

Figura 33 : Estructura ANFIS entrenada para la Vía secundaria



Elaboración : Propia

Figura 34 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS para la vía secundaria



Elaboración : Propia

Puesto que se busca al igual que en la vía principal, la circulación de la mayor cantidad de vehículos para esta vía ingresaremos la máxima cantidad de vehículos registrados en el trabajo de campo, la cual se muestra en la tabla 17 la cual es 15 vehículos, y como segundo dato de entrada ingresaremos el valor de 0 seg como tiempo libre al final del ciclo en verde, con estos datos el sistema ANFIS nos muestra el valor en verde para la vía secundaria.

Figura 35 : Calculo de tiempo de verde de vía secundaria



Elaboración : Propia

Como se observa en la figura para 35, una cantidad de 15 vehículos y 0 segundos de tiempo libre se tiene 27.5 segundos de tiempo en verde para la vía secundaria, entonces.

$$T_{\text{verde Vías Secundarias}} = 28 \text{ Seg.} \quad \dots(\text{Ec } 43)$$

3.7.4.3.3 CALCULO DEL TIEMPO EN VERDE DE DESFASE.

Como ya se tiene calculado los tiempos en verde de las vías principal y secundaria, ahora solo queda pendiente el cálculo del desfase que deberá de haber entre los diferentes semáforos de la vía principal, para que de este modo se genere la ola verde en esta vías, para ello consideraremos los siguientes detalles.

Primeramente calcularemos la velocidad promedio con la que se desplazan los vehículos en la Av. El Sol, para ello se realizó mediciones en campo sobre el tiempo que demoran en desplazarse por las diferentes intersecciones sobre la Av. El sol, el dato más representativo corresponde a la ruta entre la Av. Floral y Jr. Los incas, en este tramo los vehículos demoran en promedio 1 minuto en desplazarse de extremo a extremo, entonces

$$v = e/t \quad \dots(\text{Ec } 44)$$

Donde v = velocidad de los vehículos, e = espacio entre vías, t = tiempo que demora en desplazar por el tramo de vía.

Con ayuda del Google maps, podemos realizar la medición del tramo en cuestión, como se muestra en el gráfico 34:

Gráfico 34 : Medición de distancia entre Av. Floral y Jr. Los Incas



Elaboración : Propia

Entonces tenemos que $e = 425 \text{ Mtrs}$, con lo cual se obtiene que la velocidad promedio con la que se desplazan los vehículos sobre la Av. El Sol es:

$$v = 425m/1min \quad \dots(\text{Ec } 45)$$

Convirtiendo a km / h, tenemos

$$v = \left(\frac{425m}{1min}\right)\left(\frac{60min}{1h}\right)\left(\frac{1km}{1000m}\right) \quad \dots(\text{Ec } 46)$$

$$v = 25.5 \text{ Km/h} \quad \dots(\text{Ec } 47)$$

Tomaremos esta velocidad como la velocidad promedio con la cual se desplazan los vehículos por toda la Av. El Sol. Con este valor calcularemos el tiempo estimado que se requiere para desplazarse entre tramos semaforizadas a lo largo de la Av. El Sol. En la tabla 18 se muestra el cuadro con los valores calculados

Tabla 18 : Tiempo de recorrido entre tramo semaforizada en la Av. El Sol

| Vía Nro. 1 | Desde | Hasta | Distancia (Mtrs) | Tiempo para Recorrido (Seg) |
|------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| Av. El Sol | Av. Floral | Jr. Los Incas | 425 | 60 |
| Av. El Sol | Jr. Los Incas | Jr. Del Puerto | 300 | 42 |
| Av. El Sol | Jr. Del Puerto | Jr. Ricardo Palma | 355 | 50 |
| Av. El Sol | Jr. Ricardo Palma | Jr. Bancharo Rosi | 580 | 82 |

Elaboración : Propia

Para la implementación del sistema neuro-difuso ANFIS tomaremos los datos de la siguiente manera, como primer dato de ingreso será el tiempo que demora en recorrer un tramo de vía semaforizada el cual mejorara conforme el sistema entre en operación, como segundo dato de entrada será el tiempo libre inicial, es decir el tiempo libre de vehículos cuando el semáforo se pone en verde. Como salida tendremos el tiempo de desfase que habrá entre semáforos de la vía principal, para este caso la Av. El Sol. Los datos para el entrenamiento del sistema se obtuvieron de la siguiente manera; el primer dato de entrada se calculó en base a la distancia y la velocidad promedio calculada líneas arriba, y el segundo dato se tomó lectura en campo al igual que los datos de desfase actual, un extracto de esta información se muestra a en la tabla 19, el cuadro completo se muestra en ANEXO-2

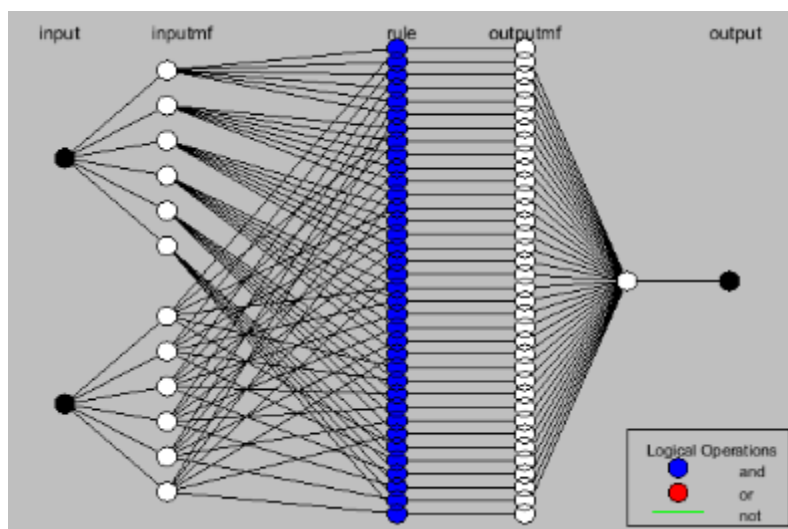
Tabla 19 : Extracto de tiempos de recorrido y desfase en la vía principal

| ITEM | ENTRADA | | SALIDA |
|------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| | TIEMPO RECORRIDO (seg) | TIEMPO LIBRE INICIAL (Seg) | TIEMPO DESFACE (Seg) |
| 1 | 60 | 2 | 23 |
| 11 | 60 | 0 | 23 |
| 21 | 60 | 0 | 23 |
| 32 | 60 | 0 | 23 |
| 44 | 42 | 0 | 15 |
| 50 | 42 | 0 | 15 |
| 60 | 42 | 4 | 15 |
| 70 | 42 | 0 | 15 |
| 90 | 50 | 0 | 28 |
| 111 | 50 | 0 | 28 |
| 126 | 50 | 0 | 28 |
| 136 | 50 | 0 | 28 |
| 146 | 80 | 3 | 15 |
| 156 | 80 | 0 | 15 |
| 166 | 80 | 0 | 15 |
| 179 | 80 | 0 | 15 |

Elaboración : Propia

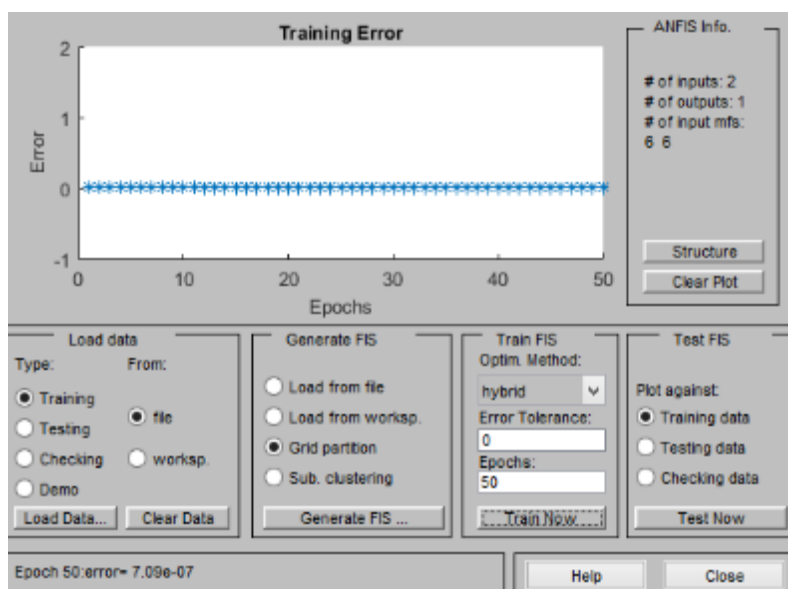
Con estos datos generaremos la estructura FIS; se escogió 6 funciones de membresía para cada entrada de tipo campana de Gauss y una función lineal para la salida. Una vez generada la estructura FIS se utilizará el comando ANFIS para el entrenamiento de la misma. Esta función al igual que la utilizada para generar la estructura FIS utilizará como matriz de entrenamiento los datos recolectados en campo previamente ordenados, se configura el vector para 50 épocas de entrenamiento, un error de entrenamiento de 0, un tamaño de paso de 0.01, una razón de decrecimiento del tamaño del paso de 0.9 y una razón de crecimiento del tamaño del paso de 1.1. Con los datos mencionados se obtiene la estructura ANFIS mostrada en la figura 36.

Figura 36 : Estructura ANFIS entrenada para el desfase entre semáforos



Elaboración : Propia

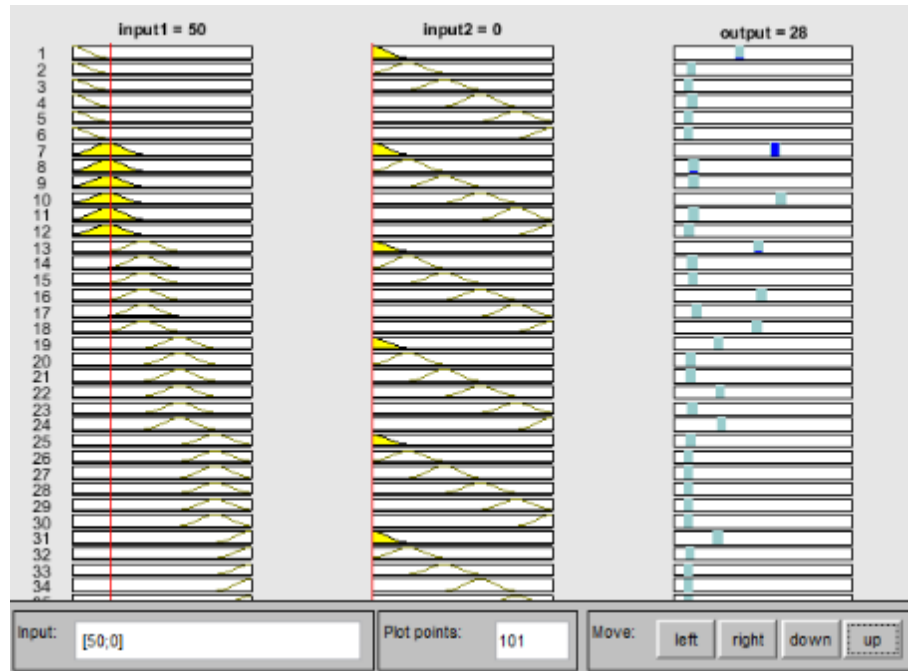
Figura 37 : Error de entrenamiento de la estructura ANFIS para desfase entre semáforos



Elaboración : Propia

Con el sistema ANFIS entrenado para el tiempo de desfase, ahora proyectaremos un primer valor de desfase que tendrá que haber entre los semáforos de la Av. El Sol.

Figura 38 : Calculo de tiempo de desfase entre semáforos sobre la Av. El Sol



Elaboración : Propia

En la figura 38, para obtener el tiempo de desfase entre los semáforos de la vía principal, como primer dato de ingreso corresponde a la cantidad de tiempo en segundo que se demora un vehículo desde una intersección semaforizada a la otra, puesto que la distancia entre los diferentes semáforos de la Av. El Sol, no son iguales se tomó un promedio de 50 Seg. como primera entrada, la segunda entrada corresponde al tiempo libre inicial cuando el semáforo se pone en verde, puesto que queremos optimizar el tiempo espera, este valor se colocó en 0 segundos, es así que el tiempo de desfase que nos muestra el sistema es de 28 Seg.

$$T_{\text{desfase Vía Principal}} = 28 \text{ Seg.} \quad \dots(\text{Ec } 48)$$

En conclusión, ya tenemos calculados los tres principales tiempos para el corredor vial de la Av. el Sol, con estos valores más adelante se realizará una

simulación y se hará una comparación con la configuración actual del sistema de control semafórico de la vía en estudio. No obstante cabe resaltar que este es un valor inicial con lectura de datos realizada de forma manual, con el sistema implementado se tendría mucha más información para poder procesar y el sistema de control ANFIS sería mucho más exacto.

3.7.4.4 SISTEMA DE CONTROL Y SCADA

Hasta ahora ya tenemos calculado los parámetros de temporización de los semáforos de la red vial de la Av. El Sol, la cual está en estudio, Así mismo ya se tiene diseñado todo el hardware necesario para la integración del sistema, solo queda pendiente el sistema de software que integrara el sistema de control, en esta sección se describirá cada uno de los aspectos necesarios para la integración del sistema, se consideraran los siguientes puntos.

- Arquitectura de control del sistema semafórico.
- Sistema Scada.

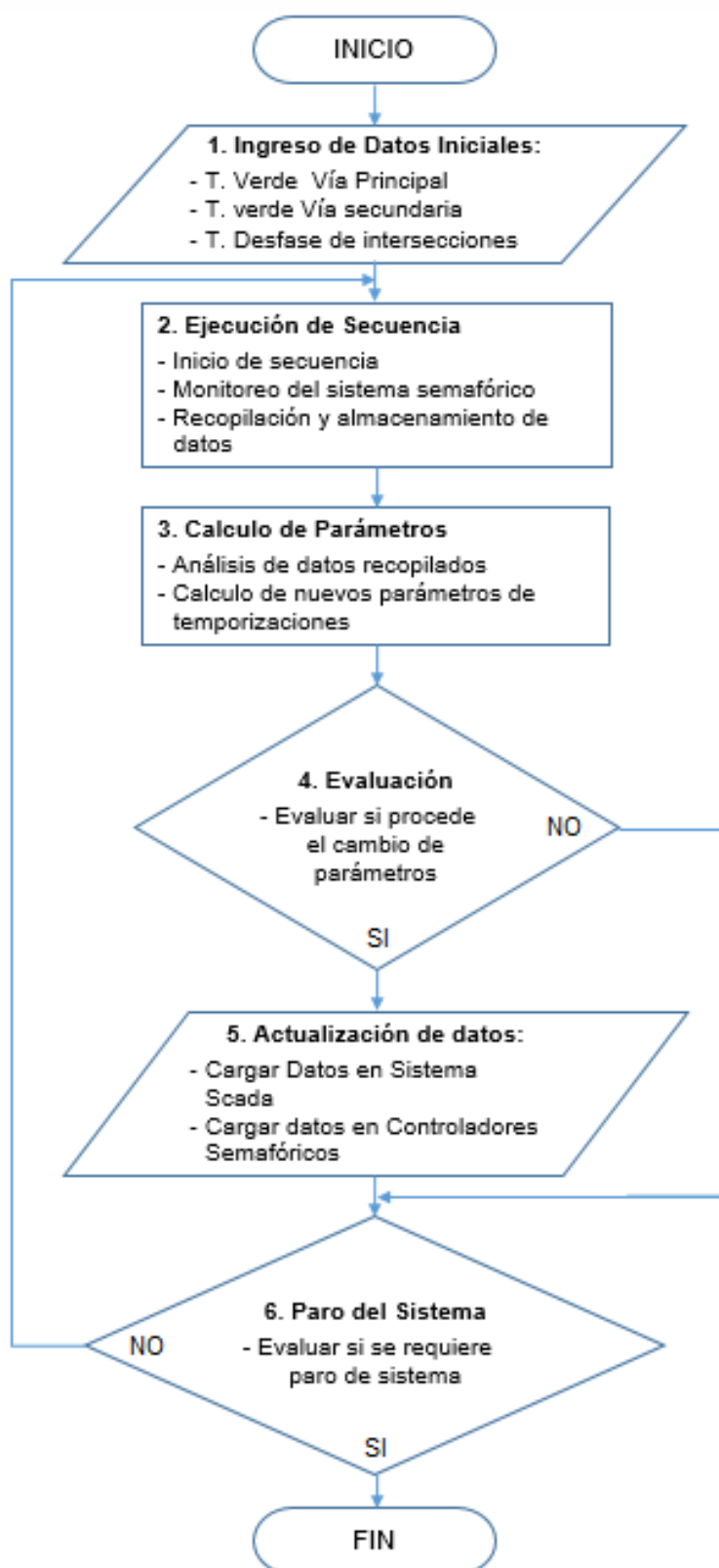
3.7.4.4.1 ARQUITECTURA DE CONTROL DEL SISTEMA SEMAFÓRICO

La arquitectura de control fue concebida con dos conceptos fundamentales.

La primera es que la operación del sistema de control de los semáforos será llevado a cargo por el PLC maestro que controlara el corredor vial, este ejecutara su secuencia de programación en la mayor parte del tiempo muy independiente del sistema Scada, esto para que todo el sistema de control de tráfico vehicular no dependa únicamente del sistema Scada, ya que al fallar éste podría no funcionar todo el sistema.

El segundo aspecto considerado es que el sistema Scada durante la mayor parte del tiempo solo monitoreara el sistema semafórico, y será el encargo de recopilar y almacenar toda la información del sistema actual del flujo vehicular, con esta información se podrá realizar nuevos cálculos y reajuste de los parámetros de temporización, para luego cargarlos en la memoria del PLC que controla el sistema, en este tiempo el sistema Scada tomara el control. No obstante habrá la posibilidad de intervenir en cualquier momento la configuración de los semáforos y del sistema completo a través del sistema Scada, sim embargo se deberá de tener en cuenta que para realizar el cambio de configuración tomar la medidas necesarias para que no falle el sistema, en la figura 31 se muestra el diagrama de flujo de la arquitectura de control.

Figura 39 : Diagrama de flujo de la arquitectura de control del sistema semafórico centralizado



Elaboración : Propia

A continuación describiremos cada una de las acciones de control que toma la arquitectura de control para el manejo del sistema.

1. Ingreso de Datos Iniciales: Esta primera etapa corresponde a la inicialización del sistema, es en esta etapa donde se ingresan los datos calculados a partir de la información recopilada de campo, en la tabla 20 se muestra las temporizaciones calculadas por el sistema de control ANFI.

Tabla 20 : *Parámetros iniciales de configuración de temporización de la Av. El Sol*

| Función | Temporización (Seg) |
|--|---------------------------------|
| Tiempo en verde en semáforos de la Vía Principal | 37 |
| Tiempo en verde en semáforos de las Vías Secundarias | 28 |
| Tiempo de desfase en Vía principal | 28 |

Elaboración : *Propia*

Esta información es almacenada primeramente en el sistema Scada y seguidamente este se encargara de enviarles a cada controlador semafórico del sistema correspondiente.

2. Ejecución de Secuencia: En esta fase de la secuencia de control, se comienza a realizar la ejecución de la secuencia de control de tráfico, que se ejecutara durante todo el transcurso del día en el horario programado, las principales acciones de esta etapa son:

- Puesta en marcha e inicio y ejecución de secuencia
- Monitoreo permanente del funcionamiento correcto del sistema
- Mostrar alarmas de fallas en el sistema.
- Lectura y almacenamiento de los parámetros del flujo vehicular

3. Cálculo de Parámetros: Con la lectura y almacenamiento de la información del flujo vehicular del paso anterior, en esta etapa se realiza el entrenamiento del sistema ANFIS con esta nueva información, es así que se calculara nuevamente los parámetros de temporización y analizar nuevas estrategias de control, como manejar diferentes temporizaciones de acuerdo a la hora del día.

4. Evaluación: En esta etapa se analizara si los cálculos realizados en la etapa anterior son coherentes y mejorara el funcionamiento del sistema, ya que se está planteando una estrategia de control basado en una arquitectura neuro difusa y por lo aleatorio que es el comportamiento del flujo vehicular, se requiere una constante verificación de los parámetros de temporización, al menos al inicio hasta que el sistema se vuelva estable.

5. Actualización de datos: Si el resultado de la evaluación es positivo, se procede a actualizar los nuevos parámetros de temporización tanto en el sistema Scada como en los diferentes controladores de la red semafórica. Si por el contrario los nuevos cálculos de los tiempos de temporización no se consideran los adecuados se procede a mantener los parámetros anteriores.

6. Paro del Sistema: En este paso es para seleccionar si se requiere realizar una parada del sistema o se continúa nuevamente con la secuencia en bucle cerrado. Se puede requerir parada en caso de configuraciones mayores, tales como la integración de un nuevo controlador, o cambio de hardware en algunos casos, obviamente estos tipos de para se deberá realizar en horarios donde el sistema semafórico este en descanso.

3.7.4.4.2 SISTEMA SCADA

Finalmente queda la descripción de esta última etapa para la implementación del sistema de control de tráfico, el sistema scada de acuerdo a la arquitectura de control cumplirá dos funciones importantes en este proyecto, los cuales se describen a continuación.

La primera función del sistema Scada corresponde a la fase de monitoreo de todo el sistema de control semafórico, en ella el sistema Scada se encarga del monitoreo de todas las condiciones de funcionamiento, lanzará alarmas en caso de que ocurra fallas en el controlador, en el sistema de control o en algún parámetro configurado previamente.

La segunda función del sistema Scada será la de control, esto básicamente se refiere a la modificación de los parámetros de temporización y modos de funcionamiento del sistema, como se observó en la arquitectura de control, esta acción dependerá del análisis de la información recopilación del sistema y su respuesta que da el sistema ANFIS respecto a los parámetros de entrada,

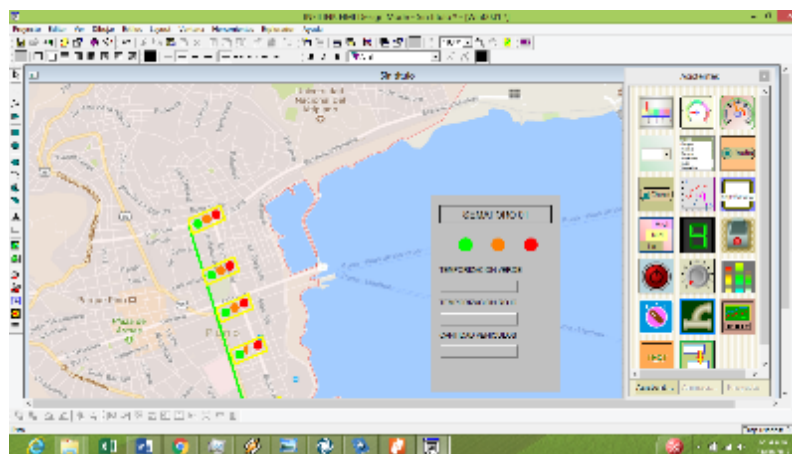
En el mercado existen diferentes software que se dedican a los sistemas scada, incluso de la familia de Schneider eléctrico cuenta con su propio software para este fin que es el Vijeo Designer, sin embargo por tema de costos se eligió el software Infilink,

PANTALLA DEL SISTEMA SCADA

Como se mencionó anteriormente, el sistema Scada se desarrolló en la plataforma del software Infilink HMI, este software provee las herramientas para diseñar e implementar una interface personalizada para cualquier proceso. Infilink ofrece soluciones de interface para PLCs, transmisores, sensores, I/O remotas, y otros dispositivos de proceso. Infilink HMI funciona bajo Microsoft® Windows® 7, 8, 10 y Windows Server 2008 R2 y 2012

Bajo esta plataforma se diseñó el sistema de monitoreo y control del sistema semafórico (ver figura 40), el cual se verá más adelante. Otra particularidad para la integración del sistema es la comunicación de los diferentes controladores con el sistema scada, es la compatibilidad con el protocolo de comunicación que usan, puesto que tanto el software y controlador elegido no son de la misma marca, esto requieren de un software adicional para que se comuniquen, esto se logra a través de un servidor OPC, al igual que el sistema scada existen en el mercado una gran cantidad de OPC, sin embargo el Infilink dentro de su paquete cuenta con el OPC KepserverEX que es el que usaremos.

Figura 40 : Pantalla Scada diseñado en Infilink



Fuente: (Infilink, 2017)

3.8 PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS

De acuerdo al plan de experimentación, los cuales dan como resultado gráficos para ser analizados comparativamente. La confiabilidad o significado de los resultados del experimento serán mostrados en gráficos para su mayor interpretación de los resultados.

3.9 DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se aplicará la prueba T student de muestras relacionadas, es una prueba estadística que compara las medias de un mismo grupo y calcula las diferencias entre la primera y la segunda medición. Se suele conocer como prueba “Ex – Post” (antes y después).

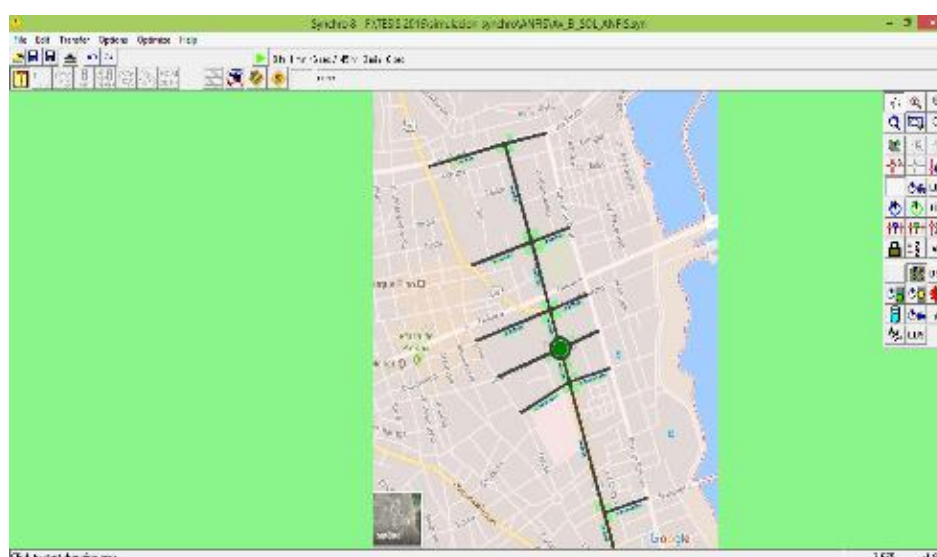
CAPITULO IV

ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 SIMULACIÓN DEL CONTROL DE TRÁFICO

Para la simulación del comportamiento del flujo vehicular se empleará el software SYNCHRO, el cual permite realizar simulaciones macroscópicas, del comportamiento del flujo vehicular, para ello primeramente se procedió a realizar las configuraciones necesarias para establecer la plataforma de simulación, es así que en el gráfico 35, se muestra el diseño de las vías para la simulación de la Av. El Sol con sus intersecciones en tema de estudio.

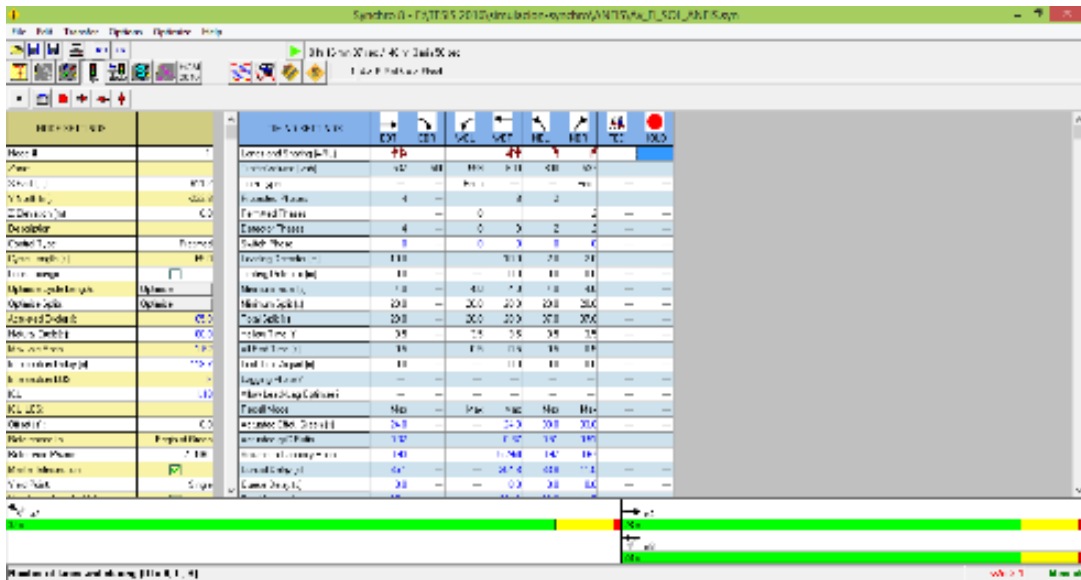
Gráfico 35 : Pantalla de diseño del software Synchro



Elaboración : Propia

Para realizar la simulación en SYNCHRO se debe de ingresar los datos de la vía en estudio tales como longitud y ancho de vía, número de carriles, sentidos de circulación. Así mismo se deben de ingresar datos de los parámetros del flujo vehicular tales como cantidad de vehículos que circulan por la vía, velocidad promedio de desplazamiento, finalmente se debe de ingresar los datos referentes a las temporizaciones de los semáforos, en el gráfico 36 se muestra la pantalla para el ingreso de datos del flujo vehicular.

Gráfico 36 : Pantalla de Ingreso de datos del flujo vehicular para la simulación



Elaboración : Propia

Para el análisis del resultado se realizó tres simulaciones comparativas, en cada simulación se empleó datos tomados en campo en diferentes días y horarios, estos datos son simulados primero con el sistema de control actual y seguidamente con el sistema de control neuro-difuso ANFIS, a continuación se muestran estos resultados.

4.1.1 PRIMERA SIMULACIÓN.

Los datos del flujo vehicular fueron recopilados el día lunes 28 de agosto del 2017 a horas 7:00 a 9:00 A.M. estos datos se encuentra en el Anexo 2.1.

La primera simulación corresponde a la configuración actual del sistema de control de los semáforos, la tabla 21 muestra los parámetros de configuración para esta simulación:

Tabla 21 : Temporización actual de los semáforos en la Av. El Sol.

| TAG | intersección | | | | Desfase entre Vías |
|---------|--------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|
| | Vía Nro. 1 | T. Verde Vía 1 | Vía Nro. 2 | T. Verde Vía 2 | |
| SEMF-01 | Av. El Sol | 21 Seg. | Av. Floral | 20 Seg. | ---- |
| SEMF-02 | Av. El Sol | 31 Seg. | Jr. Los Incas | 21 Seg. | 23 |
| SEMF-03 | Av. El Sol | 41 Seg. | Jr. Del Puerto | 30 Seg. | 15 |
| SEMF-04 | Av. El Sol | 42 Seg. | Jr. Ricardo Palma | 27 Seg. | 28 |
| SEMF-05 | Av. El Sol | 30 Seg. | Jr. Bancharo Rosi | 27 Seg. | 15 |

Elaboración : Propia

Con los datos obtenidos del muestreo en campo del flujo vehicular fue entrenado el sistema neuro-difuso ANFIS, detallado en la sección 3.7.4.3.3 con el cual se obtuvo nuevos tiempos de temporización para las intersecciones de la Av. El Sol, en la tabla 22 se muestra estos valores

Tabla 22 : Temporización de semaforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la primera simulación

| Función | Temporización (Seg) |
|--|----------------------|
| Tiempo de verde en semáforos de la Vía Principal | 37 |
| Tiempo de verde en semáforos de las Vías Secundarias | 28 |
| Tiempo de desfase en Vía principal | 25 |

Elaboración: Propia

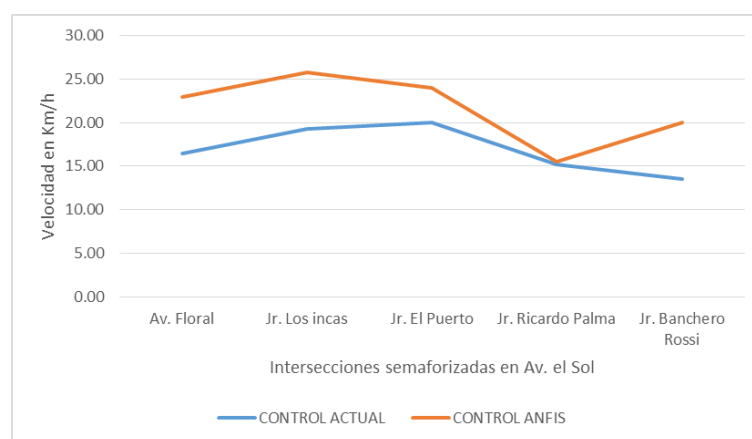
La simulación Nos muestra los siguientes resultados para la vía principal:

Tabla 23 : Datos de Primera Simulación, velocidad promedio de circulación en la Av. El Sol

| Velocidad Promedio en (km/h) | | |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 16.50 | 23.00 |
| Jr. Los incas | 19.25 | 25.75 |
| Jr. El Puerto | 20.00 | 24.00 |
| Jr. Ricardo Palma | 15.25 | 15.50 |
| Jr. Banchemo Rossi | 13.50 | 20.00 |
| Promedio | 16.90 | 21.65 |
| % Promedio de Mejora | | 22% |

Elaboración : Propia

Figura 41 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Primera simulación

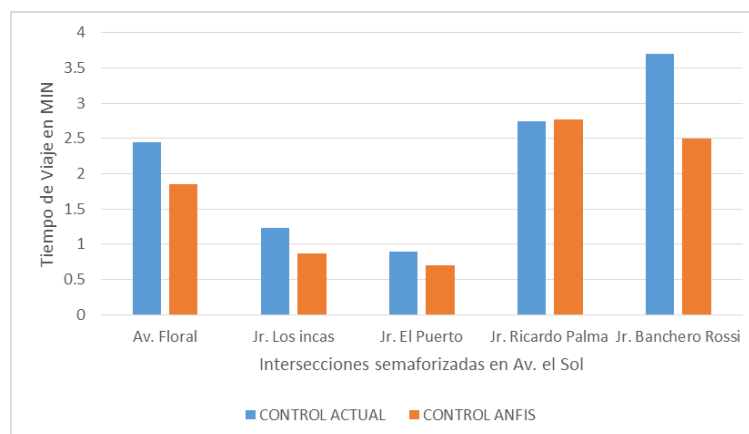


Elaboración : Propia

Tabla 24 : Datos de Primera Simulación del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol

| Tiempo Promedio de Viaje en (min) | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 2.45 | 1.85 |
| Jr. Los incas | 1.23 | 0.88 |
| Jr. El Puerto | 0.90 | 0.70 |
| Jr. Ricardo Palma | 2.75 | 2.78 |
| Jr. Banchemo Rossi | 3.70 | 2.50 |
| Promedio | 2.21 | 1.74 |
| % Promedio de Mejora | | -27% |

Elaboración : Propia

Figura 42 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Primera Simulación**Elaboración : Propia**

En la tabla 23 y su correspondiente figura 41, podemos observar que la velocidad del flujo vehicular aumento en promedio un 22% respecto al sistema de control actual, así mismo los datos que muestra la tabla 24 y su correspondiente Figura 42 muestran una mejora del 27% en tiempo de viaje respecto al sistema actual, con estos datos podemos indicar que el sistema muestra mejorar el flujo vehicular. Para continuar con la validación de los resultados se realizó dos simulaciones adicionales con datos tomados en campo en días diferentes.

4.1.2 SEGUNDA SIMULACIÓN

Los datos del flujo vehicular fueron recopilados el día viernes 7 de setiembre del 2017 a horas 17:00 a 19:00 PM. Estos datos se encuentran en el Anexo 2.2. Con esta información se procedió a realizar el entrenamiento del sistema ANFIS y se calculó los nuevos tiempos de programación de los semáforos, estos resultados se muestran en la tabla

Tabla 25 : Temporización de semáforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la segunda simulación

| Función | Temporización (Seg) |
|--|----------------------|
| Tiempo de verde en semáforos de la Vía Principal | 41 |
| Tiempo de verde en semáforos de las Vías Secundarias | 30 |
| Tiempo de desfase en Vía principal | 24 |

Elaboración: Propia

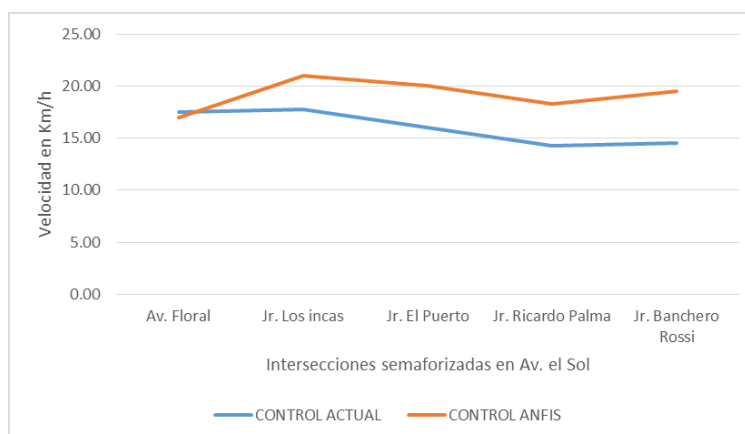
Cabe mencionar que los datos de simulación para la temporización del sistema actual corresponden a la tabla 21, ya que este es un sistema de tiempos fijos, solo se modifica los datos del flujo vehicular obtenido del muestreo en campo, a continuación se muestran los resultados de las simulaciones

Tabla 26 : Datos de Segunda Simulación, velocidad promedio de circulación en la Av. El Sol

| Velocidad Promedio en (km/h) | | |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 17.50 | 17.00 |
| Jr. Los incas | 17.75 | 21.00 |
| Jr. El Puerto | 16.00 | 20.00 |
| Jr. Ricardo Palma | 14.25 | 18.25 |
| Jr. Bancharo Rossi | 14.50 | 19.50 |
| Promedio | 16.00 | 19.15 |
| % Promedio de Mejora | | 16% |

Elaboración : Propia

Figura 43 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Segunda simulación



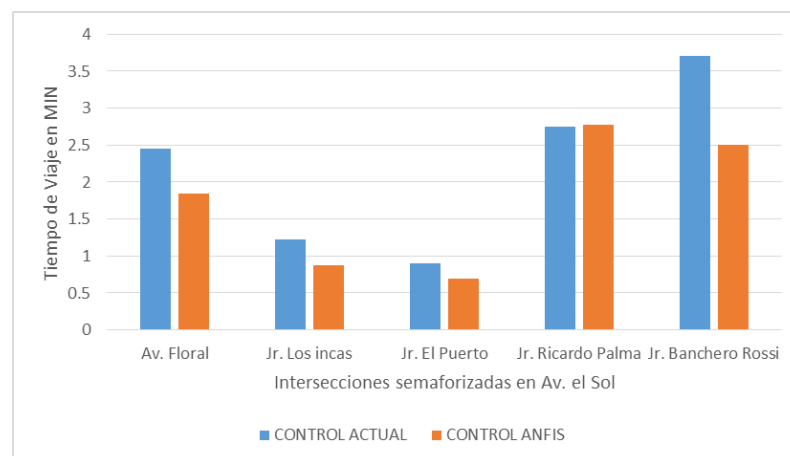
Elaboración : Propia

Tabla 27 : Datos de Segunda Simulación del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol

| Tiempo Promedio de viaje en (min) | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 1.35 | 1.7 |
| Jr. Los incas | 1.00 | 0.73 |
| Jr. El Puerto | 0.93 | 0.58 |
| Jr. Ricardo Palma | 2.70 | 1.93 |
| Jr. Banquero Rossi | 2.35 | 1.20 |
| Promedio | 1.67 | 1.23 |
| % Promedio de Mejora | | -36% |

Elaboración : Propia

Figura 44 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Segunda Simulación



Elaboración : Propia

De la tabla 26 y su correspondiente figura 43 se puede indicar que en esta segunda simulación se llega a mejorar la velocidad del flujo vehicular en un 16% respecto al sistema de control actual, así mismo se puede observar una mejora del tiempo de viaje entre intersección a lo largo de la Av. El Sol en un 36% como lo muestra en la tabla 27.

4.1.3 TERCERA SIMULACIÓN

Los datos del flujo vehicular fueron recopilados el día sábado 9 de setiembre

del 2017 a horas 11:00 A.M. a 01:00 P.M. esta información se encuentra en el Anexo 2.3. Con estos datos el sistema de control ANFIS nos muestra los nuevos datos de temporización, que se muestra en la tabla 4-8

Tabla 28 : Temporización de semáforos de la Av. El Sol calculada con el sistema de control ANFIS para la tercera simulación

| Función | Temporización (Seg) |
|--|----------------------|
| Tiempo de verde en semáforos de la Vía Principal | 42 |
| Tiempo de verde en semáforos de las Vías Secundarias | 27 |
| Tiempo de desfase en Vía principal | 25 |

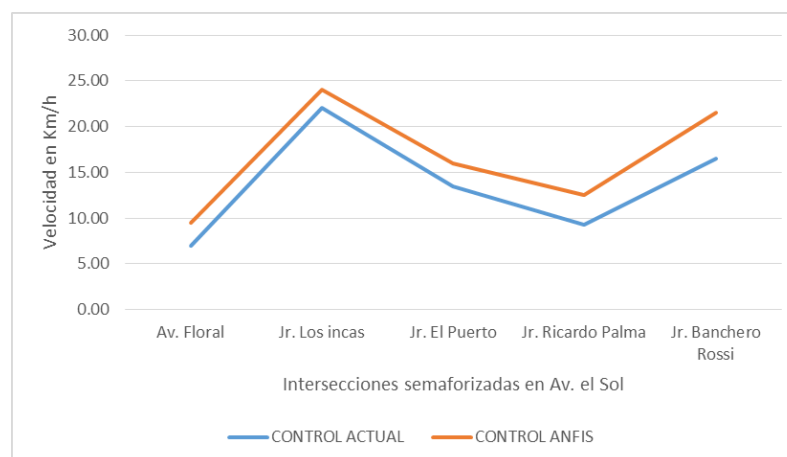
Elaboración : Propia

Tabla 29 : Datos de Tercera Simulación, velocidad promedio de circulación en la Av. El Sol.

| Velocidad Promedio en (km/h) | | |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 7.00 | 9.50 |
| Jr. Los incas | 22.00 | 24.00 |
| Jr. El Puerto | 13.50 | 16.00 |
| Jr. Ricardo Palma | 9.25 | 12.50 |
| Jr. Bancharo Rossi | 16.50 | 21.50 |
| Promedio | 13.65 | 16.70 |
| % Promedio de Mejora | | 18% |

Elaboración : Propia

Figura 45 : Velocidad de circulación en la Av. el Sol - Tercera simulación



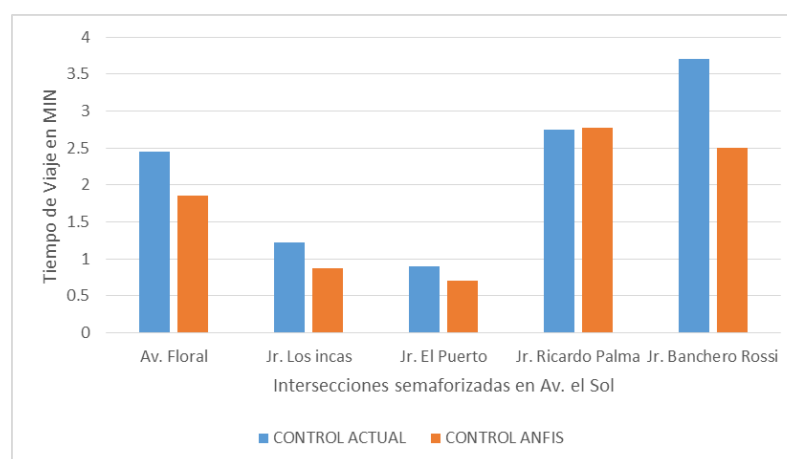
Elaboración: Propia

Tabla 30 : Datos de Tercera Simulación del Tiempo promedio de Viaje entre intersecciones en la Av. El Sol

| Tiempo Promedio de viaje en (min) | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------|
| Intersección Av. El sol / | Control ACTUAL | Control ANFIS |
| Av. Floral | 3.5 | 3.1 |
| Jr. Los incas | 0.80 | 0.73 |
| Jr. El Puerto | 1.95 | 1.93 |
| Jr. Ricardo Palma | 4.08 | 2.98 |
| Jr. Bancharo Rossi | 3.45 | 2.60 |
| Promedio | 2.76 | 2.27 |
| % Promedio de Mejora | | -22% |

Elaboración : Propia

Figura 46 : Tiempo de Viaje entre Intersecciones en la Av. El Sol – Tercera Simulación



Elaboración : Propia

De la tabla 29 y su correspondiente figura 45 podemos indicar que se sigue manteniendo una tendencia a la mejora respecto a las simulaciones anteriores, ya que para esta tercera simulación se tiene una mejora del 18% utilizando el sistema de control ANFIS respecto al sistema de control actual, así mismo la mejora respecto al tiempo de viaje entre las intersecciones sobre la Av. El Sol tiene una mejora del 22% respecto al control actual como lo muestra la tabla 30.

4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis en este proyecto utilizaremos la prueba T student, por que la población es < 30 , se realizó la pruebas sobre dos parámetro principales del flujo vehicular, los cuales son; Primero la velocidad promedio del flujo vehicular a lo largo de la Av. El Sol y segundo el tiempo promedio de viaje que se demora en avanzas de una intersección a otra a lo largo de la Av. el Sol.

4.2.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS 1: VELOCIDAD PROMEDIO DEL FLUJO VEHICULAR

Para esta primera prueba se trata de validar que la velocidad promedio del flujo vehicular obtenido con el sistema de control ANFIS, es mayor que con el sistema de control actual, entonces

Sea μ_1 la velocidad promedio con el sistema actual y μ_2 la velocidad promedio con el sistema de control ANFIS, tenemos:

Establecemos la hipótesis nula H_0 y alternativa H_1

$$H_0: \mu_2 \leq \mu_1 \quad \dots(\text{Ec } 49)$$

$$H_1: \mu_2 > \mu_1 \quad \dots(\text{Ec } 50)$$

H_0 No hay mejora significativa entre el uso del sistema de control ANFIS respecto del sistema de control actual

H_1 Hay diferencia significativa entre el uso del sistema de control ANFIS respecto del sistema de control actual

- a. Luego definimos el nivel de significancia Alfa=0.05 (5%); viene a ser el margen de error que estamos dispuestos a correr al realizar nuestra prueba, lo que quiere decir que el nivel de confiabilidad es del 95%.

- b. Con los datos de simulación mostrados en la tabla 23, tabla 26, tabla 29, tenemos los siguientes datos para el sistema de control actual y ANFIS:

Datos sistema de Control Actual

$$\begin{aligned}n_1 &= 15 \\ \bar{x}_1 &= 15.52 \\ \delta_1 &= 3.87\end{aligned}$$

Donde: n_1 es la cantidad de muestra, \bar{x}_1 es el promedio de muestra y δ_1 es la desviación estándar de la muestra

Datos sistema de Control ANFIS

$$\begin{aligned}n_2 &= 15 \\ \bar{x}_2 &= 19.17 \\ \delta_2 &= 4.48\end{aligned}$$

Donde: n_2 es la cantidad de muestra, \bar{x}_2 es el promedio de muestra y δ_2 es la desviación estándar de la muestra

- c. Como se mencionó anteriormente utilizamos el estadístico de prueba T student, ahora definiremos la región crítica, para ello calcularemos los grados de libertad según la siguiente formula

$$Gl = n_1 + n_2 - 2 = 28 \quad \dots(\text{Ec } 51)$$

Dónde: Gl es grado de libertad

Utilizando la tabla de distribución de T student, para 28 grados de libertad y una área en la cola de 0.05 se tiene una valor crítica de 1.701, entonces

$$t_c > 1.701 \quad \dots(\text{Ec } 52)$$

Dónde: t_c valor que define la región crítica, que quiere decir que la región crítica son todos los valores que están a la derecha de 1.701.

- d. Calculamos el valor del estadístico de prueba, para ello primero calculamos el valor de δ_p .

$$\delta_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\delta_1^2 + (n_2-1)\delta_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad \dots(\text{Ec } 53)$$

$$\delta_p = 4.19 \quad \dots(\text{Ec } 54)$$

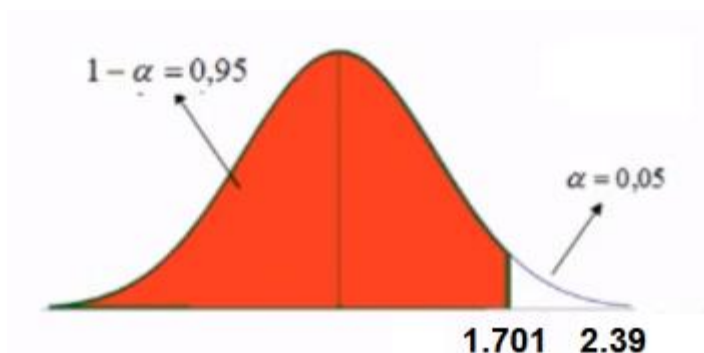
Ahora determinamos el valor del estadístico de prueba t

$$t = \frac{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) - d_0}{\delta_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_2}\right) + \left(\frac{1}{n_1}\right)}} \quad \dots(\text{Ec } 55)$$

$$t = 2.39 \quad \dots(\text{Ec } 56)$$

- e. Ubicamos el valor del estadístico encontrado en la gráfica y tenemos que:

Figura 47 : Region crítica y de confianza de hipótesis velocidad promedio



Elaboración : Propia

Decisión:

El valor 2.39 se encuentra por dentro de la región crítica y fuera de la región de confianza, por tanto, la decisión es de rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la H_1 .

Conclusión:

Por lo anterior se concluye que la velocidad promedio de flujo vehicular con el sistema de control ANFIS es mayor que el promedio de velocidad de flujo vehicular con el sistema de control actual.

4.2.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS 2: TIEMPO DE VIAJE ENTRE INTERSECCIONES

Para esta segunda hipótesis se trata de validar que el tiempo de viaje promedio entre las diferentes intersecciones obtenidas con el sistema de control actual, es mayor que con el sistema de control ANFIS, entonces

Sea μ_1 el tiempo de viaje promedio con el sistema actual y μ_2 el tiempo de viaje promedio con el sistema de control ANFIS, tenemos:

- a. Establecemos la hipótesis nula H_0 y alternativa H_1

$$H_0: \mu_1 \geq \mu_2 \quad \dots(\text{Ec } 57)$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_1 \quad \dots(\text{Ec } 58)$$

H_0 Hay mejora significativa entre el uso del sistema de control ANFIS respecto el sistema de control actual

H_1 No hay diferencia significativa entre el uso del sistema de control

ANFIS y el sistema de control actual.

- b. Luego definimos el nivel de significancia Alfa=0.05 (5%); viene a ser el margen de error que estamos dispuestos a correr al realizar nuestra prueba, lo que quiere decir que el nivel de confiabilidad es del 95%.
- c. Con los datos de simulación mostrados en la tabla 24, tabla 27, tabla 30, tenemos los siguientes datos para el sistema de control ANFIS:

Datos sistema de Control Actual

$$\begin{aligned}n_1 &= 15 \\ \bar{x}_1 &= 2.21 \\ \delta_1 &= 1.14\end{aligned}$$

Donde: n_1 es la cantidad de muestra, \bar{x}_1 es el promedio de muestra y δ_1 es la desviación estándar de la muestra

Datos sistema de Control ANFIS

$$\begin{aligned}n_2 &= 15 \\ \bar{x}_2 &= 1.74 \\ \delta_2 &= 0.9\end{aligned}$$

Donde: n_2 es la cantidad de muestra, \bar{x}_2 es el promedio de muestra y δ_2 es la desviación estándar de la muestra

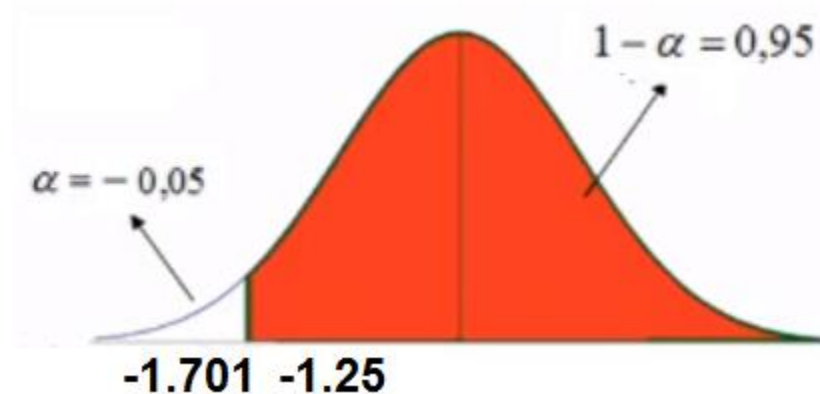
- d. El cálculo se realiza similar a la anterior prueba, a continuación solo se mostrara los resultados.

$$t_c < -1.701 \quad \dots(\text{Ec } 59)$$

$$t = -1.25 \quad \dots(\text{Ec } 60)$$

- f. Ubicamos el valor del estadístico encontrado, en el gráfico tenemos que:

Figura 48 : Region critica y de confianza de hipotesis tiempo de viaje



Elaboración : Propia

Decisión:

El valor -1.25 se encuentra por dentro de la región de confianza, por lo tanto, la decisión es de rechazar aceptar la hipótesis nula H_0 y rechazar la H_1 .

Conclusión: Por lo anterior se concluye que el tiempo de viaje promedio con el sistema de control actual mayor que el tiempo promedio de viaje con el sistema de control ANFIS, dicho de otro modo con el nuevo sistema de control se tendrá menor tiempo de viaje.

CONCLUSIONES

PRIMERO: De acuerdo a las simulaciones realizadas se tiene una mejora del 18.6 % de la velocidad promedio de circulación vehicular en la Av. El Sol, con el nuevo sistema de control ANFIS respecto al sistema de control actual, así mismo se tiene una mejora en el tiempo de viaje promedio del 28.1%, con estos datos podemos concluir el proyecto mejora el flujo vehicular.

SEGUNDO: El criterio de selección de los equipos para cumplir con las capacidades requerida para un controlador de tráfico vehicular centralizado diseñado justo a la medida de la aplicación y con equipos comerciales redujo el costo de implementación en 43% respecto a controladores con características similares que existen en el mercado, el componente principal de este controlador es el Relé Inteligente de la Marca Zelio, que equipada con un tarjeta de red Modbus y/o Ethernet tiene la capacidad de comunicación y la posibilidad de pertenecer a un red de semáforos centralizados, así mismo el controlador tiene la capacidad de manejar entrada de datos desde la cual podemos conectar sensores y así obtener datos del flujo vehicular en tiempo, finalmente el controlador diseñado es compatible con los semáforos existentes en la ciudad, con lo que el costo de implementación se sistema de control se reduciría aún más.

TERCERO: Para la implementación de la red de comunicación del sistema de control se propone el empleo de 2 topologías de red, la primera corresponde a la topología estrella que será empleada para la expansión de los nodos troncales, esta estructura será implementada por medio de cableado en Fibra Óptica

utilizando el protocolo Ethernet, la segunda corresponde a la topología de bus que se empelara para la conexión de los controladores semafóricos de un corredor vial hacia los nodos troncales mediante el protocolo Modbus esta red soporta una distancia de hasta 1000m sin elementos activos, entonces se concluye que al usar protocolos de comunicación industrial se garantiza la comunicación entre los controladores y la estación de control.

CUARTO: El control planteado se basa en la optimización del flujo vehicular por corredores viales, ya que estos son los que manejan mayor cantidad de flujo y son los más propensos a sufrir congestionamiento, se concluye que estos corredores viales deberán de tener una temporización uniforme a lo largo de toda la vía, al igual que el tiempo de desfase entre semáforos, con este criterio se podrá mantener a lo largo del ciclo de funcionamiento de la red de semáforos el sincronismo de la ola verde. Para el cálculo de los parámetros de temporización de implemento un sistema de control neuro-difuso ANFIS con 02 entradas y 01 salida, se eligió 6 funciones de membresía para cada entrada de tipo campana de Gauss y una función lineal para la salida, con un vector de 50 épocas de entrenamiento se tuvo un error de entrenamiento de hasta 2.27%, se concluye que este sistema de control con estos parámetros mejora el flujo vehicular.

SUGERENCIAS

PRIMERO: Se sugiere la implementación del sistema de control al menos como un plan piloto en el corredor vial de la Av. el Sol que se planteó como muestra de la población de estudio, ya que esta vía ya cuenta con los semáforos con tecnología LED, solo sería la implementación del nodo principal, la instalación de los nuevos controladores diseñados para este proyecto y la instalación de la red Modbus.

SEGUNDO: Para este proyecto se realizó la proyección de la optimización de los parámetros de temporización en general por día de operación, sin embargo se sugiere ampliar el estudio para realizar un análisis por horarios de operación durante el día, esto requiere una recopilación de mayor cantidad de datos no obstante el proceso de aplicación del controlador neuro-difuso se podría aplicar sin problemas.

TERCERO :El semáforo de forma de reloj de arena diseñado e implementado, se sugiere su aplicación en vías donde se observa mayor cantidad de movimiento peatonal que vehicular, tal es el caso del Jr. Lima, una vía evidentemente peatonal y turística.

CUARTO: Si se llegase a implementar el sistema de control semafórico planteado, y con ello se podría tener gran cantidad de información respecto al flujo vehicular de la ciudad, en tal sentido se sugiere plantear nuevas formas de control que involucren la interconexión de todas los corredores viales y abarcar hasta alguna vías principales colectoras.

QUINTO: La congestión vehicular como se vio en la introducción no solamente es causa del sistema de semaforización, si bien con este proyecto se trata de aliviar este problema, el tema también va de la mano con lo que son el diseño y mantenimiento de las vías, así como la educación vial de los conductores y peatones. Para tomar medidas de control más generalizadas se recomienda que desde los gobiernos locales, regionales y nacionales, elaborar un plan maestro que involucre todos estos temas y se ejecuten en conjunto para obtener buenos resultados a mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- ALTROCK, V. (1995). *Fuzzy Logi & Neurofuzzy Applications Explained*. Prentice-Hall.
- AURINA ARELLANO, M. (2013). *Matlab y Simulink Para Ingenieria - Nivel I*. Universidad de Ciencias y Humanidades.
- AUTRONIE. (11 de 04 de 2016). *Distribuidor de semaforos con tecnología LED*. Obtenido de <http://www.autronie.com/semaforo/>
- BANNER. (15 de 01 de 2017). *Fabricante de sensores para detección de presencia de vehiculos*. Obtenido de <https://www.bannerengineering.com/us/en/products/part.86319.html>
- BOX, P. C., & OPPENLANDER, J. C. (1995). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. Mexico, D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería.
- CAL y MAYOR, R., & CARDENAS, J. (2000). *Ingeniería de Transito, Fundamentos y Aplicaciones*. México: Alfaomega.
- CCS-C. (2016). *CCS C Compiler Manual PCB / PCM / PCH*. Custom Computer Services, Inc.
- CPIT. (2010). *Plan Regulador de Rutas de transporte Publico Urbano en la Ciudad de Puno (2010-2015)*. PUNO: Corporacion Peruana de Ingenieros en Transportes.
- CREUS. (2010). *Instrumentacion Industrial*. Barcelona: Marcombo.
- ESPINOZA VENTURA, R. (05 de 02 de 2017). *Sistemas Inteligentes de Transporte - ITS*. Obtenido de http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/ITS-UGOP2.pdf

- GONZÁLES, J. M. (2003). *Como Mejorar el Flujo Vehicular por Medio de Simulacion*. Saltillo Coahuila, Mexico: Escuela Nacional de Optimización y Análisis Numérico.
- Infilink, K. (06 de 02 de 2017). *Industrial Automation HMI/SCADA Software*.
Obtenido de <http://www.kepinfilink.com/features-specs.html>
- JANG, J., & GULLEY, N. (1995). *Fuzzy Logic Toolbox - Matlab Manual*. The Math Works.
- JARAMILLO RAMÍREZ, D. (2005). *Simulación y control de Tráfico Vehicular por Semaforización*. Medellin: Universidad Pontificia Bolivariana.
- JEREZ. (15 de 07 de 2016). *Centro de Control de Trafico*. Obtenido de http://www.jerez.es/webs_municipales/movilidad/centro_de_control_de_trafico/
- KEP. (2013). *Infilink HMI Software para Windows - Manual de usuario*. Santiago Chile: Kessler-Ellis Products, Inc.
- KEPWARE. (2017). *KepserverEX - Manual de Usuario*. PTC Inc.
- KEPWARE. (20 de 02 de 2017). *Overview Product*. Obtenido de <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/>
- KSS. (04 de 09 de 2016). *Fabricante de productos de cableado y conexionado*.
Obtenido de <http://www.kss.com.tw/e4k/E4.asp>
- MAPS, G. (02 de 03 de 2017). *Google Maps, pagina web donde se muestra imagenes satelitales de las ciudad de Puno*. Obtenido de <https://www.google.es/maps/place/Puno,+Per%C3%BA/@-15.8467711,-70.0533268,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x915d6985f4e74135:0x1e341dd8f24d32cf!8m2!3d-15.8402218!4d-70.0218805>

- MARTIN DEL BRIO, B., & SANZ MOLINA, A. (2006). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos* (3 ed.). RA-MA Editorial.
- MTC. (15 de 11 de 2016). *Ministerio de Transportes y comunicaciones del Peru*.
Obtenido de <http://www.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/estudios.html>
- NG, A. (2006). *User Manual - transport Simulation Systems*.
- ORTÚZAR S., J. d. (2000). *Modelos de demanda de Transporte*. Mexico D.F.: Alfaomega.
- PEDRAZA, L., HERNÁNDEZ, C., & LÓPEZ, D. (2012). *Vehicular traffic Control using ANFIS*. Bogota.
- RADELAT, G. (2003). *Principios de Ingeniería de Tránsito*. Northwestern University.
- REINOSO GARCÍA, A. R., & TOCAIN VILLARRUEL, C. A. (2009). *Diseño de un prototipo para controlar un semáforo inteligente usando tecnologías GSM/GPRS y wireless CPU sobre una plataforma open-soft (Linux)*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- SAMPIERI, R. H., COLLADO, C. F., & BAPTISTA, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL / Interamericana Editores S.A.
- SCHNEIDER, E. (2007). *Zelio Logic 2, Modulo Logico - Manual del Usuario*.
- SCHNEIDER, E. (02 de 04 de 2016). *Soporte Schneider Electric*. Obtenido de <http://www.schneider-electric.com.pe/es/download/>
- SUNARP. (10 de 05 de 2016). Obtenido de Superintendencia Nacional de los Registros Publicos: <https://www.sunarp.gob.pe/boletin-estadistico.asp>
- TOTEN, C. (11 de 05 de 2016). *Fabricantes de gabinetes y tableros electricos*.
Obtenido de <http://www.toten.com.cn/english/cb.htm>
- TRELEC. (s.f.). *Sincronismo y Diseño de Olas Verdes*. Lima.

ZARATE AIMA, R. R. (2009). *Método para Obtener Planes de Tiempo Semafóricas*

Óptimos en Intersecciones Congestionadas. Lima: Univesidad Nacional del
Altiplano.

ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS

A1.1 Planos de Construcción del Controlador de Tráfico

ANEXO 1 : PLANOS

A1.1 Planos de Construcción del Controlador de Tráfico





PROYECTO : DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL NEURO-DIFUSO EN UN CENTRO DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO VEHICULAR CENTRALIZADO PARA LA CIUDAD DE PUNO

TABLERO DEL CONTROLADOR SEMAFORICO CENTRALIZADO

| UBICACION | CAMPO |
|-------------------------|--------|
| TENSION DE ALIMENTACION | 220VAC |
| TENSION DE MANDO | 24VDC |
| Nº DE ARMARIOS MURAL | 1 |
| AÑO | 2017 |

| | |
|------------|------------|
| DESARROLLO | 01/06/2017 |
| REVISADO | 01/06/2017 |
| APROBADO | 27/07/2017 |
| Formado AS | REDA |



UNA
PUNO



EPIE
FIMEES

PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO
TABLERO DEL CONTROLADOR
CARATULA

FOLIO
01
02

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | |
|-----------------------|-------|----------------|------|------------|-------------|------------|---|---|---|---|----|--|--------|--------|----|----|----|-------|----|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | | | | | | | | 16 | |
| INDICE GENERAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | DESCRIPCION | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hojas | | | | | | | | | | | | REV. A | REV. B | REV. C | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | INDICE GENERAL | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV | FECHA | DIS. | REV. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DISPUNO: | C. GONZALEZ | 01/06/2017 | | | | | | | | | | | | FOLIO | 02 |
| | | | | DIBUJADO: | C. GONZALEZ | 01/06/2017 | | | | | | | | | | | | 01 | |
| | | | | REVISADO: | M. QUISPE | 27/07/2017 | | | | | | | | | | | | 03 | |
| | | | | APROBADO: | M. QUISPE | 27/07/2017 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Formado AS | NOMBRE | FECHA | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO TABLERO DEL CONTROLADOR INDICE GENERAL | | | | | | | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| A | CODIGO DE COLORES BK = NEGRO WH = BLANCO RD = ROJO BN = MARRON BU = AZUL GY = GRIS GN = VERDE YE = AMARILLO DG = NARANJA | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | DESCRIPCION IEC CAPACITOR COMPENSACION KVAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | DESCRIPCION IEC TOMACORRIENTE | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | DESCRIPCION IEC ELECTROVALVULA | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | DESCRIPCION IEC UNIDAD DE PROTECCION CONTRA SOBRECARGA E3 PLUS | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | DESCRIPCION IEC CONTACTO AUXILIAR DE LA UNIDAD DE SOBRECARGA N. D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | DESCRIPCION IEC CONTACTO AUXILIAR DE LA UNIDAD DE SOBRECARGA N. C. | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | DESCRIPCION IEC BORNERA PORTAFUSIBLE | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | DESCRIPCION IEC FUSIBLE | | | | | | | | | | | | | | | |
| J | DESCRIPCION IEC FUENTE DE ALIMENTACION | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | DESCRIPCION IEC BATERIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | DESCRIPCION IEC CONTACTO DE FUERZA | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | DESCRIPCION IEC CONTACTOS DE FUERZA N. D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | DESCRIPCION IEC MOTOR TRIFASICO | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | DESCRIPCION IEC MOTOR MONOFASICO | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | DESCRIPCION IEC TIERRA | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | DESCRIPCION IEC INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DIAGRAMA UNIFILAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | DESCRIPCION IEC INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO BIPOLAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | DESCRIPCION IEC INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIPOLAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | DESCRIPCION IEC INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TETRAPOLAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| J | DESCRIPCION IEC TERMINADOR DE RED DE VICINET | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | DESCRIPCION IEC SELECTOR DE 3 POSICIONES N. D. MANUAL-OFF-AUTO | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | DESCRIPCION IEC PULSADOR MOMENTANEO CON ILUMINACION N. D. | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | DESCRIPCION IEC PULSADOR MOMENTANEO CON ILUMINACION N. C. | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | DESCRIPCION IEC TRANSFORMADOR DIAGRAMA UNIFILAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | DESCRIPCION IEC TRANSFORMADOR DE CORRIENTE | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | DESCRIPCION IEC TRANSFORMADOR | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | DESCRIPCION IEC TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO 3 FASES CON NEUTRO | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | DESCRIPCION IEC MEDIDOR DE ENERGIA DIAGRAMA UNIFILAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | DESCRIPCION IEC BORNERA | | | | | | | | | | | | | | | |

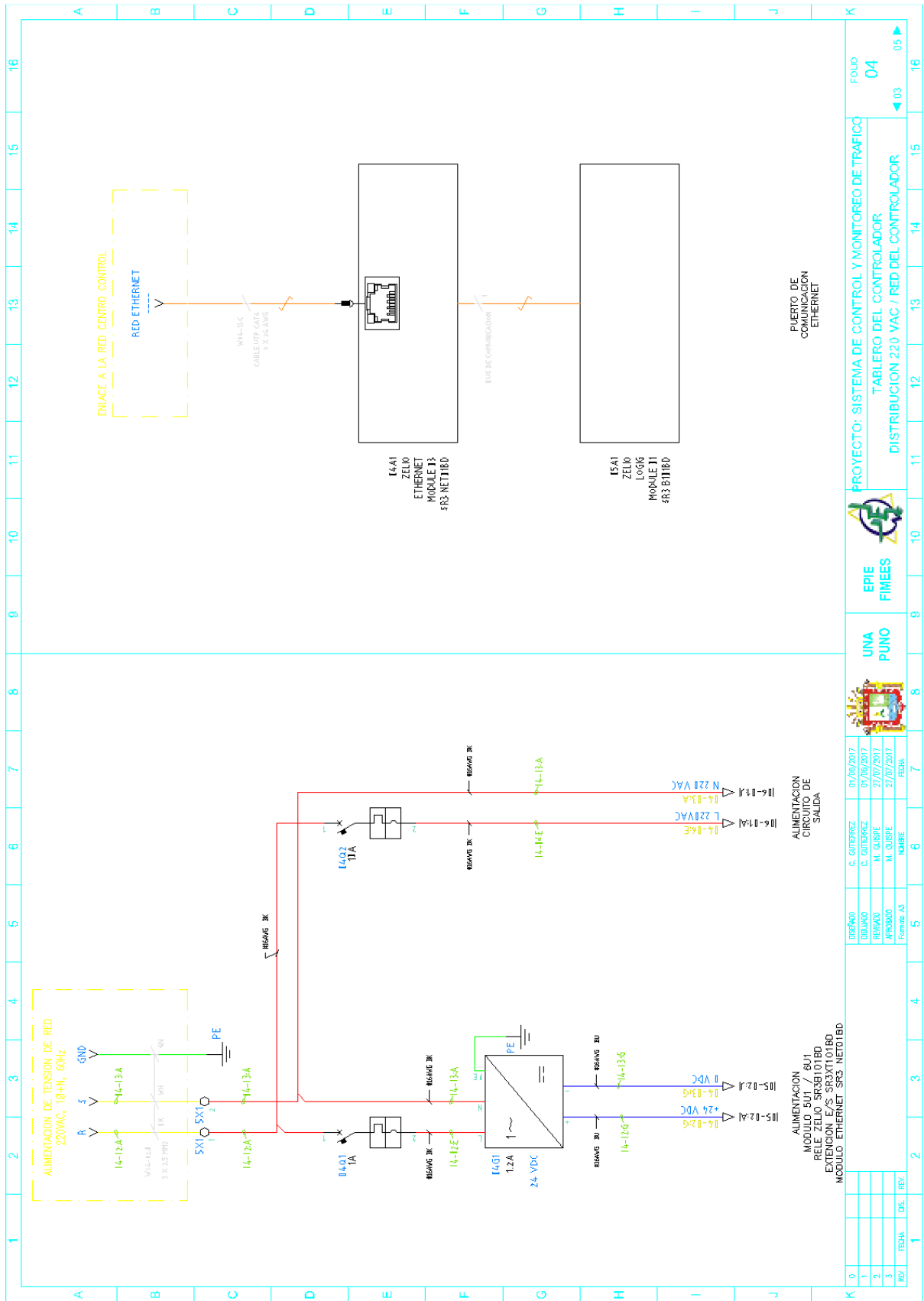
PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO
 TABLERO DEL CONTROLADOR
 SIMBOLOS ELECTRICOS

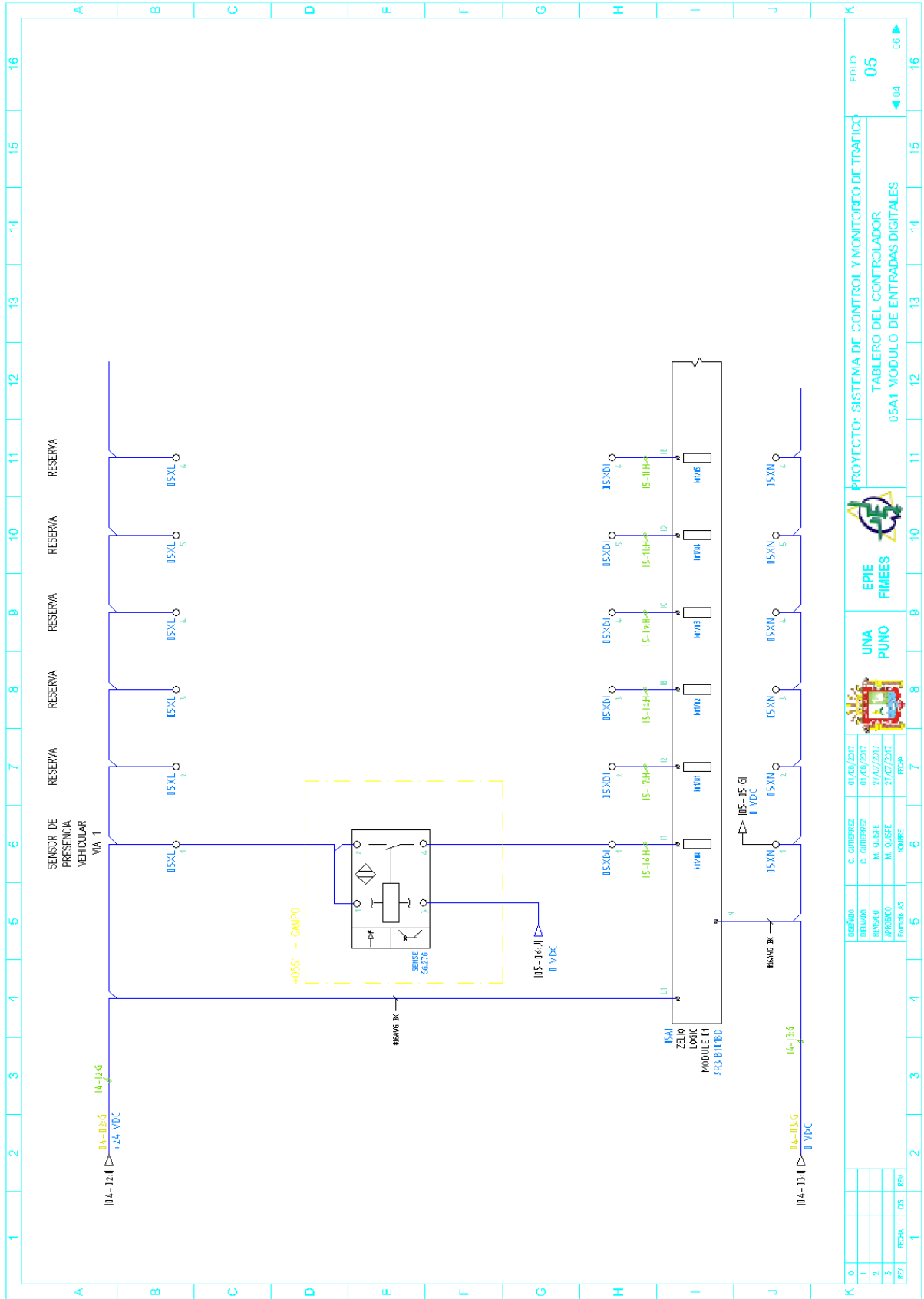
FOLIO 03
 02 04

UNA PUNO
 EPIE FIMEES

07/06/2017 C. GONZALEZ
 07/06/2017 C. GONZALEZ
 27/07/2017 M. QUISPE
 27/07/2017 M. QUISPE
 FOLIO 33 NOMBRE

1 DES. REV.
 2
 3



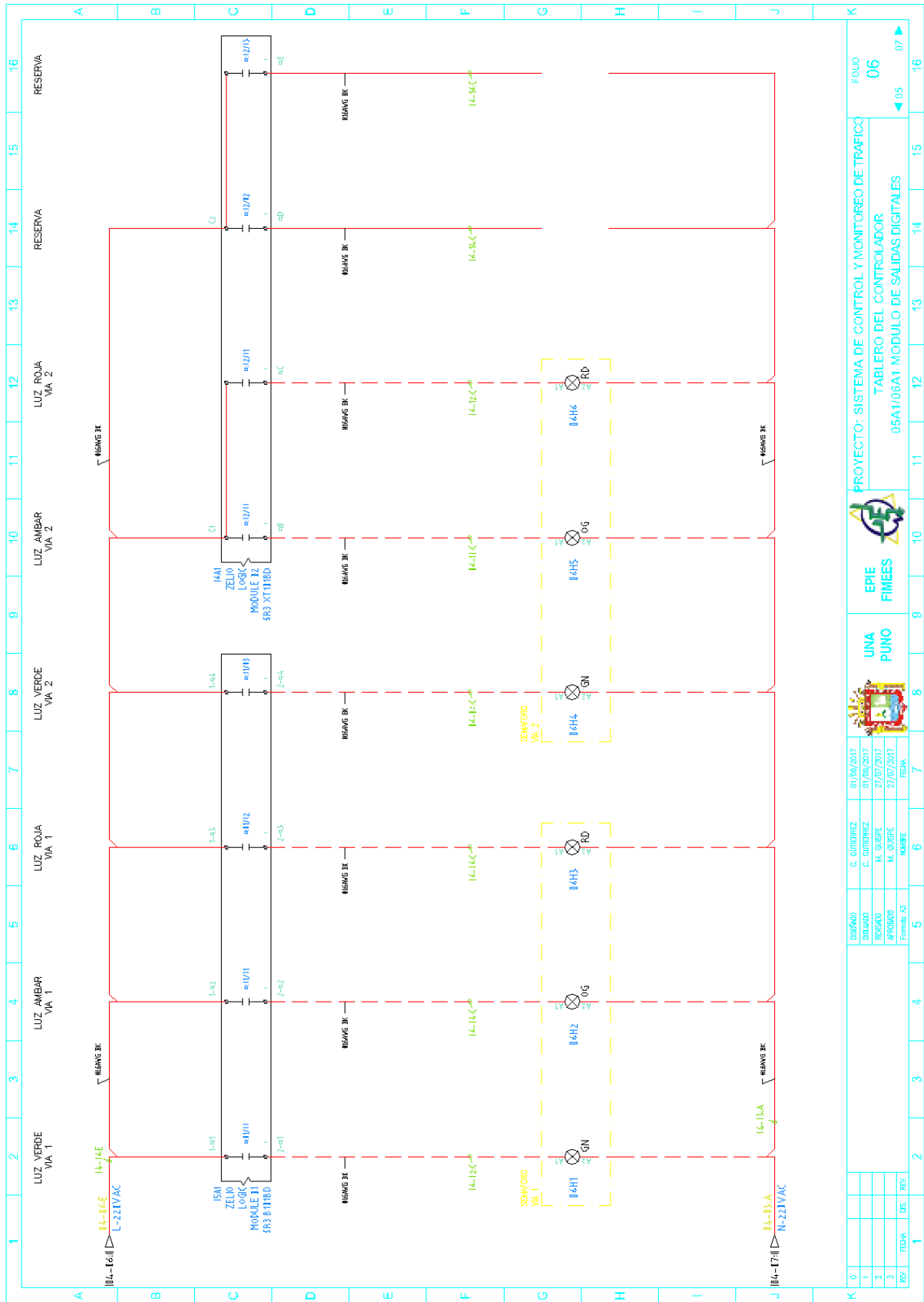


PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO
 TABLERO DEL CONTROLADOR
 05A1 MODULO DE ENTRADAS DIGITALES

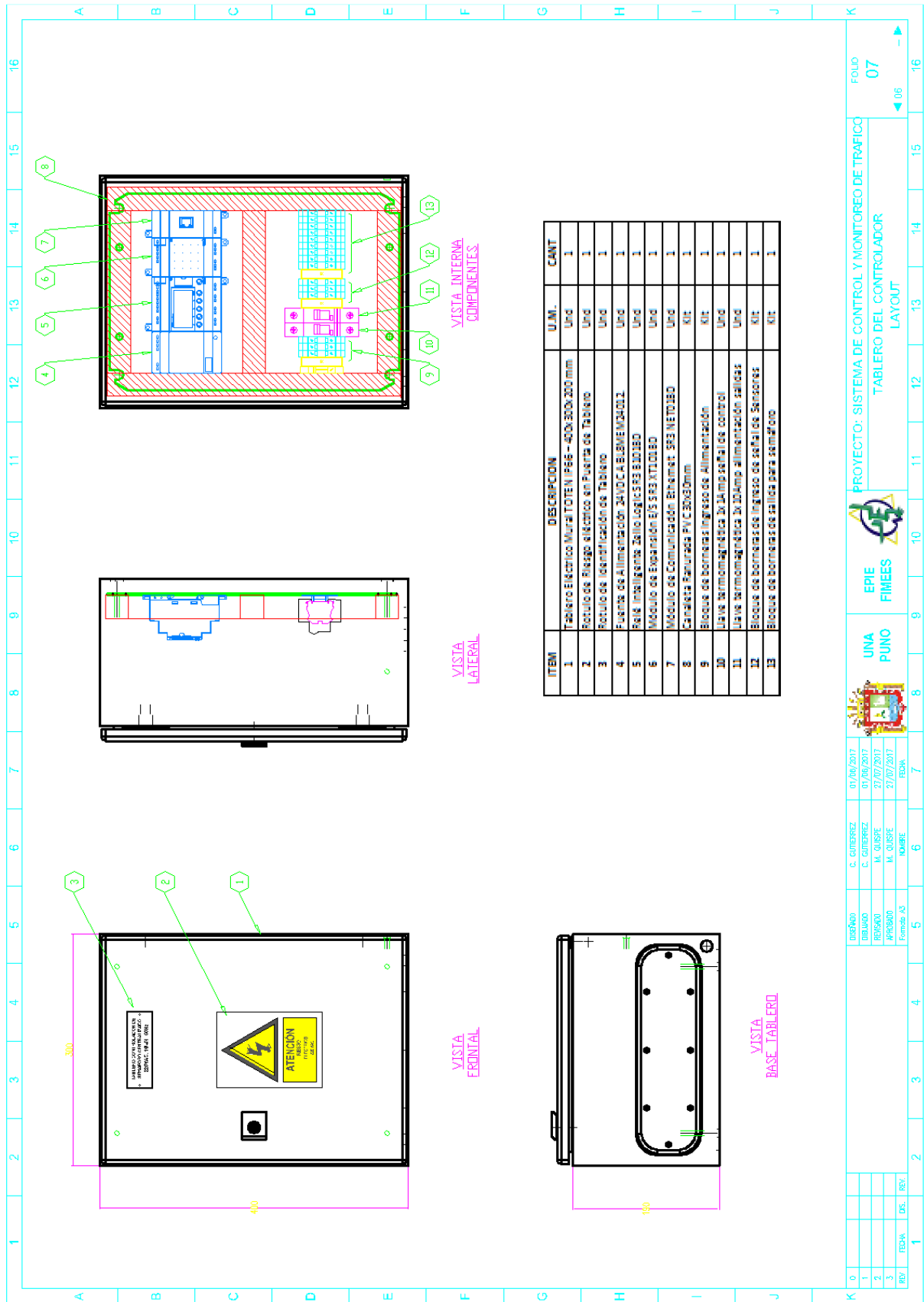


| | | |
|------------|-------------|------------|
| DESARROLLO | C. GONZALEZ | 07/06/2017 |
| DISEÑO | C. GONZALEZ | 07/06/2017 |
| REVISADO | M. OLIVERA | 27/07/2017 |
| APROBADO | M. OLIVERA | 27/07/2017 |
| Formado AS | MOURE | FESMA |

| | | | |
|------|-------|------|----------|
| REV. | FECHA | DES. | REVISADO |
| 0 | | | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

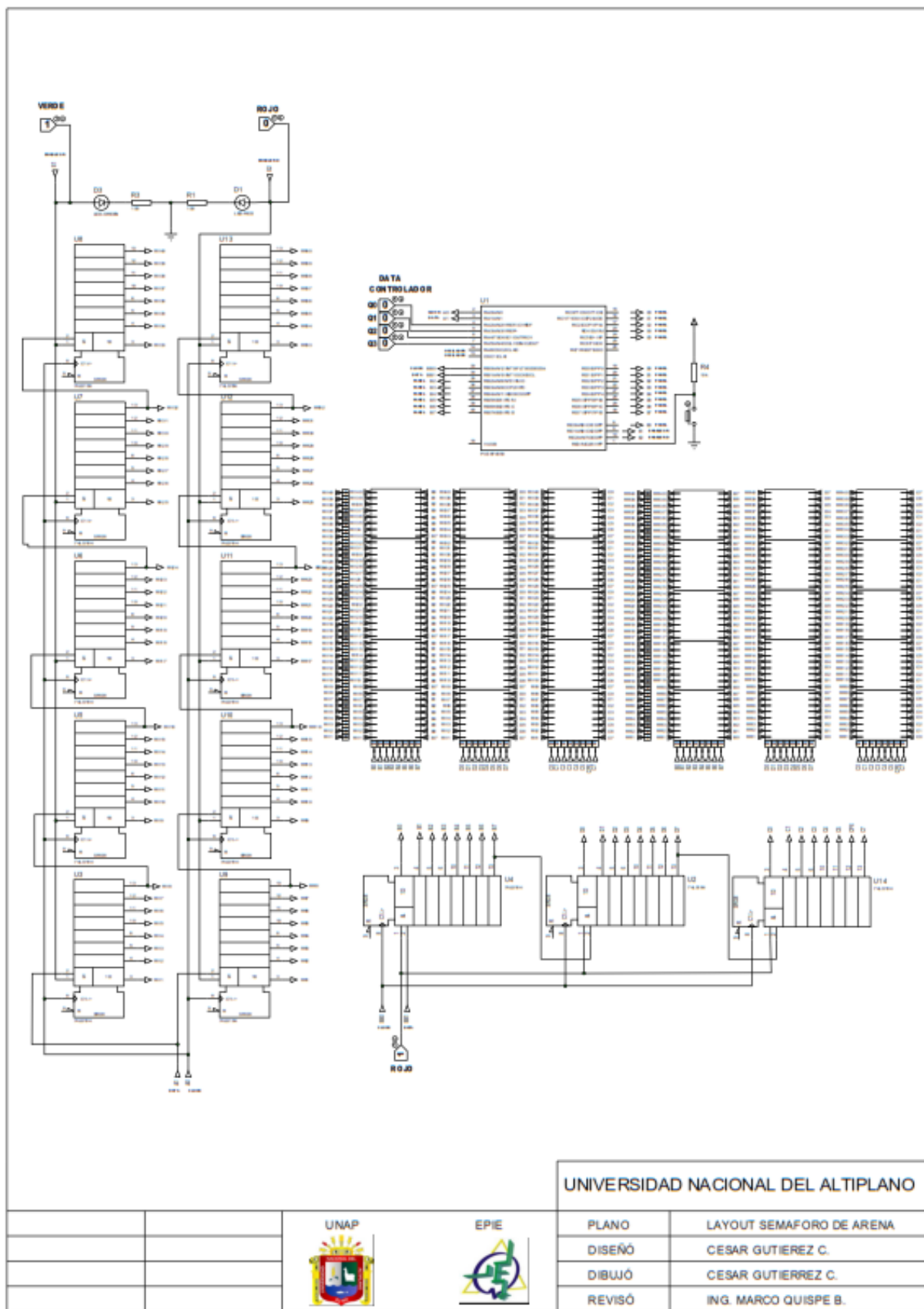


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|---|---|---|---|---|---|-------------|---|------------|----|---------------------------------------|----|----|----|----|----|
| REV | FECHA | DES. | REV. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISEÑADO | | | | | | | | | | C. GIMPEREZ | | 07/06/2017 | | FOLIO | | | | | |
| DIBUJADO | | | | | | | | | | C. GIMPEREZ | | 07/06/2017 | | 06 | | | | | |
| REVISADO | | | | | | | | | | M. QUISE | | 27/07/2017 | | TABLERO DEL CONTROLADOR | | | | | |
| APROBADO | | | | | | | | | | M. QUISE | | 27/07/2017 | | 05A1/06A1 MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES | | | | | |
| FORMADO AS | | | | | | | | | | FORMADO AS | | FORMADO AS | | | | | | | |
| NOMBRE | | | | | | | | | | NOMBRE | | NOMBRE | | | | | | | |
| FECHA | | | | | | | | | | FECHA | | FECHA | | | | | | | |



| | | | | | |
|-----|------------|-------------|---|-------|----|
| 01 | 01/06/2017 | C. GARCERAN | PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE TRAFICO | FOLIO | 07 |
| 02 | 01/06/2017 | C. GARCERAN | TABLERO DEL CONTROLADOR | 06 | |
| 03 | 27/07/2017 | W. GUSPÉ | LAYOUT | | |
| 04 | 27/07/2017 | W. GUSPÉ | | | |
| REP | FECHA | DE | REV | | |

A1.2 Planos de Construcción del Semáforo en Forma de Reloj de Arena



ANEXO 2: DATOS RECOPIRADOS

A2.1 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Primera Simulación

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| Intersección Av. El Sol con Av. Floral | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 0 | 21 | 2 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 6 | 0 | 21 | 8 | 5 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 5 | 0 | 21 | 2 | 12 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 5 | 10 | 21 | 1 | 19 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 7 | 0 | 21 | 3 | 7 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 7 | 5 | 21 | 2 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 21 | 21 | 2 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 7 | 11 | 21 | 5 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 4 | 0 | 21 | 3 | 15 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 5 | 10 | 21 | 4 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 6 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 6 | 13 | 21 | 3 | 7 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 4 | 17 | 21 | 3 | 6 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 8 | 12 | 21 | 3 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 7 | 7 | 21 | 1 | 17 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 11 | 16 | 21 | 1 | 16 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 5 | 0 | 21 | 2 | 16 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 5 | 0 | 21 | 4 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 8 | 0 | 21 | 3 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 12 | 7 | 21 | 2 | 11 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 12 | 0 | 31 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 6 | 19 | 31 | 9 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 9 | 0 | 31 | 7 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 10 | 8 | 31 | 3 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 7 | 11 | 31 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 12 | 7 | 31 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 5 | 17 | 31 | 6 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 12 | 7 | 31 | 4 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 15 | 0 | 31 | 5 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 9 | 0 | 31 | 11 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 10 | 8 | 31 | 14 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 7 | 11 | 31 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 12 | 7 | 31 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 11 | 16 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 5 | 0 | 21 | 10 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 5 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 8 | 0 | 21 | 12 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 12 | 7 | 21 | 12 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 12 | 0 | 31 | 15 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 8 | 0 | 21 | 4 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Los Incas | | | | | | | | | |
| 41 | 5 | 20 | 31 | 2 | 13 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 42 | 2 | 15 | 31 | 0 | 21 | 21 | 63 | 0 | 23 |
| 43 | 3 | 8 | 31 | 4 | 4 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 44 | 1 | 23 | 31 | 2 | 20 | 21 | 54 | 9 | 23 |
| 45 | 4 | 0 | 31 | 3 | 0 | 21 | 60 | 0 | 23 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 46 | 4 | 11 | 31 | 4 | 0 | 21 | 63 | 0 | 23 |
| 47 | 5 | 14 | 31 | 2 | 18 | 21 | 58 | 0 | 23 |
| 48 | 0 | 31 | 31 | 5 | 0 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 49 | 4 | 0 | 31 | 5 | 12 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 50 | 5 | 17 | 31 | 4 | 0 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 51 | 3 | 24 | 31 | 2 | 18 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 52 | 7 | 0 | 31 | 5 | 0 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 53 | 10 | 10 | 31 | 5 | 12 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 54 | 5 | 5 | 31 | 0 | 21 | 21 | 58 | 0 | 23 |
| 55 | 3 | 5 | 31 | 1 | 20 | 21 | 59 | 18 | 23 |
| 56 | 7 | 0 | 31 | 1 | 17 | 21 | 61 | 0 | 23 |
| 57 | 10 | 5 | 31 | 1 | 0 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 58 | 8 | 9 | 31 | 4 | 0 | 21 | 60 | 2 | 23 |
| 59 | 7 | 6 | 31 | 2 | 18 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 60 | 9 | 0 | 31 | 5 | 0 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 61 | 10 | 0 | 31 | 5 | 12 | 21 | 59 | 4 | 23 |
| 62 | 11 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 57 | 0 | 23 |
| 63 | 7 | 0 | 31 | 4 | 13 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 64 | 10 | 0 | 31 | 3 | 0 | 21 | 61 | 0 | 23 |
| 65 | 10 | 16 | 31 | 3 | 20 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 66 | 8 | 0 | 31 | 8 | 0 | 21 | 63 | 0 | 23 |
| 67 | 11 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 62 | 2 | 23 |
| 68 | 11 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 69 | 18 | 0 | 31 | 4 | 13 | 21 | 63 | 0 | 23 |
| 70 | 11 | 0 | 31 | 3 | 0 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 71 | 10 | 12 | 31 | 3 | 20 | 21 | 61 | 0 | 23 |
| 72 | 5 | 8 | 31 | 3 | 20 | 21 | 63 | 2 | 23 |
| 73 | 9 | 9 | 31 | 6 | 0 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 74 | 8 | 0 | 31 | 4 | 13 | 21 | 59 | 0 | 23 |
| 75 | 11 | 0 | 31 | 3 | 0 | 21 | 58 | 0 | 23 |
| 76 | 10 | 9 | 31 | 3 | 20 | 21 | 61 | 1 | 23 |
| 77 | 8 | 0 | 31 | 3 | 20 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| 78 | 5 | 17 | 31 | 6 | 0 | 21 | 60 | 0 | 23 |
| 79 | 12 | 7 | 31 | 6 | 0 | 21 | 57 | 0 | 23 |
| 80 | 15 | 0 | 31 | 4 | 13 | 21 | 62 | 0 | 23 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. El Puerto | | | | | | | | | |
| 81 | 5 | 20 | 41 | 9 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 82 | 6 | 18 | 41 | 10 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 83 | 7 | 12 | 41 | 14 | 0 | 30 | 40 | 0 | 15 |
| 84 | 11 | 3 | 41 | 15 | 0 | 30 | 42 | 2 | 15 |
| 85 | 10 | 8 | 41 | 15 | 0 | 30 | 38 | 0 | 15 |
| 86 | 5 | 16 | 41 | 15 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 87 | 6 | 24 | 41 | 12 | 0 | 30 | 42 | 3 | 15 |
| 88 | 7 | 23 | 41 | 14 | 0 | 30 | 36 | 0 | 15 |
| 89 | 15 | 17 | 41 | 12 | 0 | 30 | 42 | 2 | 15 |
| 90 | 5 | 12 | 41 | 14 | 0 | 30 | 43 | 0 | 15 |
| 91 | 6 | 0 | 41 | 15 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|---|----|---------|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 92 | 10 | 0 | 41 | 8 | 5 | 30 | 45 | 0 | 15 |
| 93 | 3 | 25 | 41 | 10 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 94 | 8 | 13 | 41 | 9 | 0 | 30 | 45 | 0 | 15 |
| 95 | 9 | 21 | 41 | 7 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 96 | 6 | 21 | 41 | 10 | 3 | 30 | 40 | 0 | 15 |
| 97 | 5 | 27 | 41 | 10 | 0 | 30 | 45 | 0 | 15 |
| 98 | 4 | 27 | 41 | 10 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 99 | 9 | 15 | 41 | 9 | 2 | 30 | 45 | 2 | 15 |
| 100 | 8 | 13 | 41 | 12 | 0 | 30 | 41 | 0 | 15 |
| 101 | 11 | 11 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 102 | 9 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 5 | 15 |
| 103 | 4 | 36 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 104 | 11 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 15 |
| 105 | 11 | 22 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 106 | 3 | 29 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 107 | 6 | 15 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 2 | 15 |
| 108 | 12 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 109 | 7 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 15 |
| 110 | 5 | 0 | 41 | 9 | 2 | 30 | 40 | 0 | 15 |
| 111 | 7 | 25 | 41 | 12 | 0 | 30 | 42 | 7 | 15 |
| 112 | 10 | 15 | 41 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 15 |
| 113 | 12 | 12 | 41 | 0 | 0 | 30 | 40 | 0 | 15 |
| 114 | 9 | 12 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 15 |
| 115 | 15 | 7 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 4 | 15 |
| 116 | 18 | 5 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 15 |
| 117 | 15 | 13 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 2 | 15 |
| 118 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 2 | 15 |
| 119 | 11 | 10 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 15 |
| 120 | 12 | 12 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 15 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Ricardo Palma | | | | | | | | | |
| 121 | 15 | 9 | 42 | 0 | 1 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 122 | 14 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 123 | 11 | 0 | 42 | 0 | 3 | 27 | 50 | 3 | 28 |
| 124 | 12 | 14 | 42 | 0 | 2 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 125 | 12 | 0 | 42 | 8 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 126 | 4 | 26 | 42 | 7 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 127 | 5 | 0 | 42 | 1 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 128 | 9 | 0 | 42 | 0 | 2 | 27 | 50 | 8 | 28 |
| 129 | 17 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 130 | 13 | 0 | 42 | 0 | 1 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 131 | 12 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 132 | 16 | 0 | 42 | 0 | 3 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 133 | 6 | 15 | 42 | 0 | 2 | 27 | 50 | 10 | 28 |
| 134 | 9 | 17 | 42 | 8 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 135 | 9 | 18 | 42 | 2 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 136 | 9 | 5 | 42 | 1 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 137 | 9 | 4 | 42 | 0 | 2 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 138 | 9 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 139 | 9 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 53 | 3 | 28 |
| 140 | 17 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 52 | 0 | 28 |
| 141 | 13 | 0 | 42 | 9 | 2 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 142 | 11 | 0 | 42 | 8 | 0 | 27 | 52 | 0 | 28 |
| 143 | 12 | 10 | 42 | 7 | 0 | 27 | 51 | 2 | 28 |
| 144 | 8 | 13 | 42 | 3 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 145 | 10 | 11 | 42 | 0 | 1 | 27 | 52 | 4 | 28 |
| 146 | 12 | 1 | 42 | 0 | 0 | 27 | 52 | 0 | 28 |
| 147 | 3 | 0 | 42 | 0 | 3 | 27 | 53 | 0 | 28 |
| 148 | 17 | 5 | 42 | 0 | 2 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 149 | 13 | 8 | 42 | 8 | 0 | 27 | 53 | 0 | 28 |
| 150 | 7 | 30 | 42 | 7 | 0 | 27 | 50 | 2 | 28 |
| 151 | 10 | 10 | 42 | 1 | 0 | 27 | 52 | 0 | 28 |
| 152 | 12 | 11 | 42 | 0 | 2 | 27 | 48 | 0 | 28 |
| 153 | 12 | 0 | 42 | 8 | 0 | 27 | 48 | 6 | 28 |
| 154 | 14 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 50 | 0 | 28 |
| 155 | 13 | 0 | 42 | 2 | 0 | 27 | 49 | 0 | 28 |
| 156 | 14 | 14 | 42 | 5 | 1 | 27 | 50 | 3 | 28 |
| 157 | 14 | 20 | 42 | 7 | 0 | 27 | 51 | 0 | 28 |
| 158 | 13 | 0 | 42 | 0 | 3 | 27 | 52 | 0 | 28 |
| 159 | 8 | 10 | 42 | 1 | 1 | 27 | 51 | 0 | 28 |
| 160 | 11 | 18 | 42 | 0 | 0 | 27 | 49 | 0 | 28 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Banquero Rosi | | | | | | | | | |
| 161 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 162 | 8 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 163 | 9 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 79 | 0 | 15 |
| 164 | 7 | 15 | 42 | 0 | 0 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 165 | 9 | 11 | 42 | 2 | 0 | 27 | 82 | 0 | 15 |
| 166 | 7 | 13 | 42 | 0 | 3 | 27 | 81 | 0 | 15 |
| 167 | 12 | 4 | 42 | 1 | 0 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 168 | 6 | 0 | 42 | 0 | 0 | 27 | 79 | 0 | 15 |
| 169 | 9 | 0 | 42 | 0 | 4 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 170 | 9 | 12 | 42 | 3 | 0 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 171 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 81 | 0 | 15 |
| 172 | 2 | 0 | 30 | 0 | 2 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 173 | 7 | 0 | 30 | 2 | 0 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 174 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 175 | 10 | 0 | 30 | 2 | 0 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 176 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 15 |
| 177 | 5 | 13 | 30 | 6 | 8 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 178 | 2 | 18 | 30 | 7 | 7 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 179 | 10 | 11 | 30 | 10 | 6 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 180 | 9 | 0 | 30 | 12 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 181 | 8 | 0 | 30 | 0 | 4 | 27 | 82 | 0 | 15 |
| 182 | 6 | 0 | 30 | 3 | 0 | 27 | 83 | 0 | 15 |
| 183 | 8 | 8 | 30 | 0 | 0 | 27 | 81 | 0 | 15 |
| 184 | 11 | 0 | 30 | 0 | 2 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 185 | 9 | 12 | 30 | 2 | 0 | 27 | 82 | 0 | 15 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|----|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 186 | 12 | 0 | 30 | 8 | 2 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 187 | 8 | 8 | 30 | 3 | 0 | 27 | 85 | 3 | 15 |
| 188 | 9 | 15 | 30 | 4 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 189 | 6 | 16 | 30 | 6 | 0 | 27 | 78 | 0 | 15 |
| 190 | 5 | 0 | 30 | 7 | 7 | 27 | 80 | 4 | 15 |
| 191 | 11 | 0 | 30 | 4 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 192 | 5 | 17 | 30 | 8 | 3 | 27 | 75 | 7 | 15 |
| 193 | 8 | 0 | 30 | 6 | 8 | 27 | 80 | 0 | 15 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|----|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 194 | 5 | 25 | 30 | 6 | 0 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 195 | 8 | 13 | 30 | 2 | 0 | 27 | 85 | 2 | 15 |
| 196 | 6 | 15 | 30 | 2 | 3 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 197 | 8 | 12 | 30 | 1 | 5 | 27 | 82 | 2 | 15 |
| 198 | 8 | 0 | 30 | 8 | 4 | 27 | 80 | 0 | 15 |
| 199 | 8 | 0 | 30 | 2 | 0 | 27 | 73 | 0 | 15 |
| 200 | 8 | 12 | 30 | 8 | 3 | 27 | 80 | 0 | 15 |

LEYENDA:

- A : CANT VEHICULOS VIA PRINCIPAL (Und)
- B : TIEMPO LIBRE FINAL VIA PRINCIPAL (Seg)
- C : TIEMPO DE VERDE EN VIA PRINCIPAL (Seg)
- D : CANT VEHICULOS VIA SECUNDARIA (Und)
- E : TIEMPO LIBRE FINAL VIA SECUNDARIA (Seg)
- F : TIEMPO DE VERDE EN VIA SECUNDARIA (Seg)
- G : TIEMPO DE VIAJE ENTRE INTERSECCIONES SOBRE LA VIA PRINCIPAL (Seg)
- H : TIEMPO LIBRE INICIAL (Seg)
- I : TIEMPO DE DESFACE (Seg)

Elaboración : Propia

A2.2 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Segunda Simulación

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | | ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|----|----|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| Intersección Av. El Sol con Av. Floral | | | | | | | | | | 46 | 7 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 63.8 | 0 | 25 |
| 1 | 0 | 0 | 21 | 3 | 8 | 20 | 0 | 0 | 0 | 47 | 5 | 3 | 31 | 2 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 2 | 0 | 0 | 21 | 2 | 5 | 20 | 0 | 0 | 0 | 48 | 4 | 0 | 31 | 3 | 3 | 21 | 61.8 | 2 | 25 |
| 3 | 0 | 0 | 21 | 2 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 | 49 | 5 | 0 | 31 | 5 | 0 | 21 | 64.8 | 0 | 25 |
| 4 | 0 | 0 | 21 | 4 | 9 | 20 | 0 | 0 | 0 | 50 | 4 | 10 | 31 | 7 | 0 | 21 | 63.8 | 0 | 25 |
| 5 | 0 | 0 | 21 | 4 | 8 | 20 | 0 | 0 | 0 | 51 | 8 | 1 | 31 | 1 | 6 | 21 | 61.8 | 8 | 25 |
| 6 | 0 | 0 | 21 | 1 | 18 | 20 | 0 | 0 | 0 | 52 | 8 | 0 | 31 | 4 | 5 | 21 | 65.8 | 1 | 25 |
| 7 | 0 | 0 | 21 | 6 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 53 | 8 | 0 | 31 | 9 | 0 | 21 | 63.8 | 3 | 25 |
| 8 | 0 | 0 | 21 | 2 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 | 54 | 7 | 0 | 31 | 5 | 0 | 21 | 61.8 | 0 | 25 |
| 9 | 0 | 0 | 21 | 4 | 9 | 20 | 0 | 0 | 0 | 55 | 5 | 3 | 31 | 4 | 3 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 10 | 0 | 0 | 21 | 4 | 8 | 20 | 0 | 0 | 0 | 56 | 5 | 0 | 31 | 1 | 0 | 21 | 64.8 | 2 | 25 |
| 11 | 0 | 0 | 21 | 5 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 | 57 | 4 | 10 | 31 | 2 | 12 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 12 | 0 | 0 | 21 | 2 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 | 58 | 8 | 1 | 31 | 1 | 6 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 13 | 0 | 0 | 21 | 4 | 9 | 20 | 0 | 0 | 0 | 59 | 8 | 0 | 31 | 0 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 14 | 0 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 60 | 7 | 0 | 31 | 3 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 15 | 0 | 0 | 21 | 4 | 9 | 20 | 0 | 0 | 0 | 61 | 8 | 0 | 31 | 1 | 8 | 21 | 63.8 | 0 | 25 |
| 16 | 0 | 0 | 21 | 4 | 8 | 20 | 0 | 0 | 0 | 62 | 9 | 0 | 31 | 4 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 17 | 0 | 0 | 21 | 5 | 1 | 20 | 0 | 0 | 0 | 63 | 15 | 2 | 31 | 6 | 0 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 18 | 0 | 0 | 21 | 3 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 64 | 9 | 2 | 31 | 6 | 0 | 21 | 61.8 | 15 | 25 |
| 19 | 0 | 0 | 21 | 3 | 1 | 20 | 0 | 0 | 0 | 65 | 9 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 64.8 | 0 | 25 |
| 20 | 0 | 0 | 21 | 3 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 66 | 8 | 0 | 31 | 4 | 1 | 21 | 64.8 | 0 | 25 |
| 21 | 4 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 67 | 6 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 22 | 5 | 3 | 21 | 10 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 68 | 3 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 23 | 5 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 69 | 5 | 3 | 31 | 4 | 0 | 21 | 62.8 | 5 | 25 |
| 24 | 6 | 4 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 70 | 9 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 63.8 | 0 | 25 |
| 25 | 4 | 9 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 71 | 14 | 2 | 31 | 6 | 0 | 21 | 64.8 | 0 | 25 |
| 26 | 4 | 3 | 21 | 7 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 72 | 5 | 0 | 31 | 4 | 2 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 27 | 8 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 73 | 9 | 0 | 31 | 4 | 0 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 28 | 8 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 74 | 5 | 0 | 31 | 5 | 0 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 29 | 9 | 2 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 75 | 4 | 0 | 31 | 4 | 0 | 21 | 63.8 | 2 | 25 |
| 30 | 9 | 4 | 21 | 7 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 76 | 10 | 0 | 31 | 6 | 0 | 21 | 61.8 | 0 | 25 |
| 31 | 6 | 4 | 21 | 10 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 77 | 15 | 2 | 31 | 6 | 0 | 21 | 63.8 | 0 | 25 |
| 32 | 4 | 9 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 78 | 6 | 0 | 31 | 9 | 0 | 21 | 65.8 | 0 | 25 |
| 33 | 4 | 3 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 79 | 9 | 0 | 31 | 8 | 0 | 21 | 64.8 | 0 | 25 |
| 34 | 8 | 0 | 21 | 6 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 | 80 | 2 | 0 | 31 | 5 | 2 | 21 | 62.8 | 0 | 25 |
| 35 | 9 | 4 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | Intersección Av. El Sol con Jr. El Puerto | | | | | | | | | |
| 36 | 8 | 0 | 21 | 6 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 81 | 8 | 8 | 41 | 10 | 2 | 30 | 43.1 | 0 | 18 |
| 37 | 8 | 0 | 21 | 6 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 82 | 7 | 15 | 41 | 11 | 2 | 30 | 43.1 | 10 | 18 |
| 38 | 8 | 0 | 21 | 3 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 83 | 10 | 8 | 41 | 12 | 0 | 30 | 45.1 | 17 | 18 |
| 39 | 9 | 2 | 21 | 7 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 | 84 | 4 | 20 | 41 | 16 | 0 | 30 | 46.1 | 2 | 18 |
| 40 | 9 | 4 | 21 | 10 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | 85 | 4 | 8 | 41 | 4 | 5 | 30 | 43 | 14 | 18 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Los Incas | | | | | | | | | | 86 | 4 | 0 | 41 | 11 | 2 | 30 | 44 | 12 | 18 |
| 41 | 6 | 3 | 31 | 7 | 1 | 21 | 62 | 0 | 25 | 87 | 4 | 0 | 41 | 8 | 1 | 30 | 46 | 4 | 18 |
| 42 | 5 | 0 | 31 | 2 | 12 | 21 | 63 | 0 | 25 | 88 | 4 | 0 | 41 | 11 | 2 | 30 | 43 | 5 | 18 |
| 43 | 4 | 10 | 31 | 1 | 6 | 21 | 62.8 | 0 | 25 | 89 | 10 | 8 | 41 | 12 | 0 | 30 | 45 | 17 | 18 |
| 44 | 8 | 1 | 31 | 4 | 5 | 21 | 62.8 | 11 | 25 | 90 | 4 | 15 | 41 | 16 | 0 | 30 | 46 | 2 | 18 |
| 45 | 8 | 0 | 31 | 9 | 0 | 21 | 61.8 | 1 | 25 | 91 | 4 | 8 | 41 | 4 | 5 | 30 | 45 | 14 | 18 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 92 | 6 | 2 | 41 | 12 | 0 | 30 | 44 | 8 | 18 |
| 93 | 3 | 6 | 41 | 10 | 0 | 30 | 45 | 8 | 18 |
| 94 | 5 | 0 | 41 | 11 | 2 | 30 | 44 | 12 | 18 |
| 95 | 10 | 8 | 41 | 12 | 0 | 30 | 44 | 17 | 18 |
| 96 | 4 | 12 | 41 | 16 | 0 | 30 | 46 | 2 | 18 |
| 97 | 5 | 8 | 41 | 4 | 5 | 30 | 43 | 14 | 18 |
| 98 | 3 | 8 | 41 | 13 | 0 | 30 | 44 | 6 | 18 |
| 99 | 1 | 11 | 41 | 13 | 0 | 30 | 42 | 7 | 18 |
| 100 | 7 | 0 | 41 | 8 | 2 | 30 | 43 | 9 | 18 |
| 101 | 14 | 0 | 41 | 1 | 30 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 102 | 15 | 0 | 41 | 3 | 20 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 103 | 12 | 0 | 41 | 2 | 20 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 104 | 19 | 0 | 41 | 1 | 3 | 30 | 46 | 0 | 18 |
| 105 | 18 | 0 | 41 | 1 | 0 | 30 | 46 | 0 | 18 |
| 106 | 12 | 2 | 41 | 0 | 6 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 107 | 14 | 0 | 41 | 4 | 12 | 30 | 44 | 3 | 18 |
| 108 | 9 | 0 | 41 | 1 | 5 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 109 | 14 | 0 | 41 | 3 | 20 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 110 | 12 | 0 | 41 | 2 | 20 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 111 | 19 | 0 | 41 | 1 | 3 | 30 | 46 | 0 | 18 |
| 112 | 9 | 3 | 41 | 2 | 4 | 30 | 45 | 2 | 18 |
| 113 | 15 | 0 | 41 | 1 | 6 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 114 | 12 | 0 | 41 | 0 | 8 | 30 | 46 | 0 | 18 |
| 115 | 19 | 0 | 41 | 2 | 20 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 116 | 12 | 0 | 41 | 2 | 20 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 117 | 19 | 0 | 41 | 1 | 3 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 118 | 10 | 0 | 41 | 2 | 0 | 30 | 42 | 1 | 18 |
| 119 | 14 | 0 | 41 | 1 | 2 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 120 | 11 | 0 | 41 | 3 | 0 | 30 | 43 | 2 | 18 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Ricardo Palma | | | | | | | | | |
| 121 | 14 | 0 | 42 | 6 | 4 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 122 | 10 | 5 | 42 | 1 | 20 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 123 | 8 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 1 | 25 |
| 124 | 14 | 10 | 42 | 3 | 4 | 27 | 57 | 8 | 25 |
| 125 | 9 | 2 | 42 | 6 | 3 | 27 | 55 | 2 | 25 |
| 126 | 6 | 0 | 42 | 1 | 0 | 27 | 57 | 3 | 25 |
| 127 | 7 | 5 | 42 | 0 | 4 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 128 | 10 | 5 | 42 | 3 | 0 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 129 | 8 | 0 | 42 | 1 | 20 | 27 | 54 | 1 | 25 |
| 130 | 14 | 10 | 42 | 7 | 0 | 27 | 54 | 8 | 25 |
| 131 | 8 | 0 | 42 | 3 | 4 | 27 | 55 | 1 | 25 |
| 132 | 14 | 10 | 42 | 1 | 2 | 27 | 56 | 8 | 25 |
| 133 | 4 | 7 | 42 | 4 | 0 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 134 | 11 | 0 | 42 | 3 | 4 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 135 | 9 | 6 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 136 | 7 | 0 | 42 | 3 | 4 | 27 | 55 | 2 | 25 |
| 137 | 10 | 5 | 42 | 1 | 7 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 138 | 8 | 0 | 42 | 3 | 8 | 27 | 57 | 1 | 25 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Bancharo Rosi | | | | | | | | | |
| 139 | 14 | 10 | 42 | 4 | 0 | 27 | 54 | 8 | 25 |
| 140 | 12 | 0 | 42 | 3 | 2 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 141 | 13 | 0 | 42 | 6 | 4 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 142 | 14 | 2 | 42 | 1 | 20 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 143 | 14 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 1 | 25 |
| 144 | 16 | 2 | 42 | 3 | 4 | 27 | 56 | 2 | 25 |
| 145 | 15 | 0 | 42 | 6 | 3 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 146 | 13 | 2 | 42 | 5 | 2 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 147 | 11 | 3 | 42 | 2 | 1 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 148 | 14 | 2 | 42 | 6 | 4 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 149 | 14 | 2 | 42 | 1 | 20 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 150 | 14 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 56 | 1 | 25 |
| 151 | 16 | 2 | 42 | 3 | 3 | 27 | 56 | 2 | 25 |
| 152 | 14 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 56 | 1 | 25 |
| 153 | 16 | 2 | 42 | 3 | 4 | 27 | 58 | 1 | 25 |
| 154 | 12 | 0 | 42 | 6 | 3 | 27 | 55 | 1 | 25 |
| 155 | 12 | 0 | 42 | 3 | 0 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 156 | 14 | 2 | 42 | 2 | 3 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 157 | 14 | 0 | 42 | 1 | 3 | 27 | 54 | 1 | 25 |
| 158 | 15 | 2 | 42 | 6 | 4 | 27 | 58 | 2 | 25 |
| 159 | 13 | 0 | 42 | 1 | 20 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 160 | 9 | 0 | 42 | 7 | 0 | 27 | 58 | 1 | 25 |
| 161 | 8 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 162 | 5 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 3 | 20 |
| 163 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 164 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 165 | 6 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 7 | 20 |
| 166 | 6 | 2 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 167 | 6 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 168 | 10 | 5 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 169 | 9 | 3 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 170 | 10 | 4 | 30 | 0 | 0 | 27 | 81 | 0 | 20 |
| 171 | 8 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 3 | 20 |
| 172 | 5 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 173 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 174 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 2 | 20 |
| 175 | 7 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 176 | 7 | 2 | 30 | 0 | 0 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 177 | 5 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 178 | 6 | 5 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 3 | 20 |
| 179 | 9 | 3 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 180 | 10 | 4 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 181 | 18 | 3 | 30 | 6 | 8 | 27 | 81 | 0 | 20 |
| 182 | 9 | 0 | 30 | 7 | 7 | 27 | 84 | 3 | 20 |
| 183 | 13 | 0 | 30 | 10 | 6 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 184 | 11 | 0 | 30 | 12 | 0 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 185 | 11 | 2 | 30 | 10 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|---|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 186 | 7 | 0 | 30 | 12 | 3 | 27 | 84 | 3 | 20 |
| 187 | 5 | 3 | 30 | 9 | 5 | 27 | 81 | 0 | 20 |
| 188 | 11 | 1 | 30 | 8 | 9 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 189 | 10 | 4 | 30 | 11 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 190 | 8 | 3 | 30 | 8 | 3 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 191 | 14 | 3 | 30 | 6 | 8 | 27 | 81 | 0 | 20 |
| 192 | 9 | 0 | 30 | 7 | 7 | 27 | 81 | 2 | 20 |
| 193 | 12 | 0 | 30 | 10 | 6 | 27 | 81 | 0 | 20 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|---|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 194 | 12 | 0 | 30 | 12 | 0 | 27 | 81 | 3 | 20 |
| 195 | 9 | 2 | 30 | 10 | 0 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 196 | 8 | 0 | 30 | 12 | 3 | 27 | 81 | 6 | 20 |
| 197 | 5 | 3 | 30 | 10 | 5 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 198 | 11 | 1 | 30 | 8 | 9 | 27 | 80 | 0 | 20 |
| 199 | 10 | 4 | 30 | 11 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 200 | 6 | 3 | 30 | 8 | 3 | 27 | 83 | 0 | 20 |

LEYENDA:

- A : CANT VEHICULOS VIA PRINCIPAL (Und)
- B : TIEMPO LIBRE FINAL VIA PRINCIPAL (Seg)
- C : TIEMPO DE VERDE EN VIA PRINCIPAL (Seg)
- D : CANT VEHICULOS VIA SECUNDARIA (Und)
- E : TIEMPO LIBRE FINAL VIA SECUNDARIA (Seg)
- F : TIEMPO DE VERDE EN VIA SECUNDARIA (Seg)
- G : TIEMPO DE VIAJE ENTRE INTERSECCIONES SOBRE LA VIA PRINCIPAL (Seg)
- H : TIEMPO LIBRE INICIAL (Seg)
- I : TIEMPO DE DESFACE (Seg)

Elaboración : Propia

A2.3 Datos del Flujo Vehicular en Av. El Sol Tercera Simulación

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|---|----|-------|----|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| Intersección Av. El Sol con Av. Floral | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 21 | 8 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 21 | 5 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 21 | 5 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 21 | 4 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 21 | 8 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 21 | 5 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 21 | 5 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 21 | 4 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 13 | 2 | 21 | 9 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 11 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 12 | 1 | 21 | 13 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 15 | 0 | 21 | 11 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 15 | 4 | 21 | 11 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 12 | 0 | 21 | 10 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 11 | 0 | 21 | 12 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 13 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 11 | 2 | 21 | 11 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 11 | 4 | 21 | 12 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 13 | 2 | 21 | 9 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 11 | 0 | 21 | 8 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 12 | 1 | 21 | 13 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 15 | 0 | 21 | 11 | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 15 | 4 | 21 | 11 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 12 | 0 | 21 | 10 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 11 | 0 | 21 | 12 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 13 | 0 | 21 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 11 | 2 | 21 | 11 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 11 | 4 | 21 | 12 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Los Incas | | | | | | | | | |
| 41 | 6 | 0 | 31 | 1 | 12 | 21 | 59 | 0 | 25 |
| 42 | 7 | 0 | 31 | 3 | 13 | 21 | 60 | 5 | 25 |
| 43 | 5 | 0 | 31 | 5 | 10 | 21 | 63.2 | 0 | 25 |
| 44 | 5 | 3 | 31 | 2 | 12 | 21 | 61.2 | 0 | 25 |
| 45 | 6 | 2 | 31 | 4 | 11 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 46 | 9 | 0 | 31 | 2 | 13 | 21 | 60.2 | 6 | 25 |
| 47 | 6 | 3 | 31 | 3 | 10 | 21 | 63.2 | 0 | 25 |
| 48 | 3 | 4 | 31 | 4 | 9 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 49 | 7 | 0 | 31 | 3 | 10 | 21 | 63.2 | 0 | 25 |
| 50 | 10 | 2 | 31 | 3 | 12 | 21 | 61.2 | 0 | 25 |
| 51 | 6 | 0 | 31 | 3 | 12 | 21 | 60.2 | 8 | 25 |
| 52 | 7 | 0 | 31 | 2 | 8 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 53 | 5 | 0 | 31 | 6 | 10 | 21 | 62.2 | 3 | 25 |
| 54 | 5 | 3 | 31 | 2 | 12 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 55 | 6 | 2 | 31 | 3 | 11 | 21 | 59.2 | 0 | 25 |
| 56 | 9 | 0 | 31 | 2 | 12 | 21 | 62.2 | 2 | 25 |
| 57 | 6 | 3 | 31 | 3 | 10 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 58 | 3 | 4 | 31 | 4 | 9 | 21 | 61.2 | 0 | 25 |
| 59 | 7 | 0 | 31 | 3 | 14 | 21 | 59.2 | 0 | 25 |
| 60 | 10 | 2 | 31 | 3 | 12 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 61 | 6 | 10 | 31 | 3 | 7 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 62 | 5 | 4 | 31 | 6 | 9 | 21 | 59.2 | 3 | 25 |
| 63 | 5 | 6 | 31 | 2 | 6 | 21 | 59.2 | 0 | 25 |
| 64 | 8 | 8 | 31 | 4 | 0 | 21 | 63.2 | 0 | 25 |
| 65 | 6 | 5 | 31 | 6 | 0 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 66 | 4 | 4 | 31 | 8 | 0 | 21 | 62.2 | 8 | 25 |
| 67 | 6 | 6 | 31 | 6 | 0 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 68 | 8 | 7 | 31 | 3 | 3 | 21 | 61.2 | 6 | 25 |
| 69 | 6 | 9 | 31 | 5 | 4 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 70 | 8 | 5 | 31 | 4 | 10 | 21 | 59.2 | 0 | 25 |
| 71 | 6 | 10 | 31 | 3 | 7 | 21 | 61.2 | 0 | 25 |
| 72 | 5 | 4 | 31 | 6 | 9 | 21 | 59.2 | 3 | 25 |
| 73 | 5 | 6 | 31 | 2 | 6 | 21 | 61.2 | 0 | 25 |
| 74 | 8 | 8 | 31 | 4 | 0 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 75 | 6 | 5 | 31 | 6 | 0 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 76 | 4 | 4 | 31 | 8 | 0 | 21 | 62.2 | 0 | 25 |
| 77 | 6 | 6 | 31 | 6 | 0 | 21 | 62.2 | 5 | 25 |
| 78 | 8 | 7 | 31 | 3 | 3 | 21 | 60.2 | 0 | 25 |
| 79 | 6 | 9 | 31 | 5 | 4 | 21 | 60.2 | 4 | 25 |
| 80 | 8 | 5 | 31 | 4 | 10 | 21 | 59.2 | 0 | 25 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. El Puerto | | | | | | | | | |
| 81 | 3 | 3 | 41 | 17 | 0 | 30 | 42.2 | 0 | 18 |
| 82 | 7 | 14 | 41 | 8 | 5 | 30 | 43.2 | 2 | 18 |
| 83 | 6 | 19 | 41 | 10 | 0 | 30 | 44.2 | 0 | 18 |
| 84 | 5 | 23 | 41 | 9 | 0 | 30 | 43.2 | 0 | 18 |
| 85 | 8 | 14 | 41 | 7 | 0 | 30 | 45 | 5 | 18 |
| 86 | 8 | 15 | 41 | 10 | 3 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 87 | 6 | 17 | 41 | 10 | 0 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 88 | 7 | 20 | 41 | 10 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 89 | 12 | 12 | 41 | 9 | 2 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 90 | 9 | 15 | 41 | 12 | 0 | 30 | 43 | 3 | 18 |
| 91 | 9 | 3 | 41 | 17 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|----|----|-------|----|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 92 | 7 | 14 | 41 | 8 | 5 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 93 | 6 | 19 | 41 | 10 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 94 | 5 | 23 | 41 | 9 | 0 | 30 | 45 | 4 | 18 |
| 95 | 8 | 14 | 41 | 7 | 0 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 96 | 8 | 15 | 41 | 10 | 3 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 97 | 6 | 17 | 41 | 10 | 0 | 30 | 42 | 6 | 18 |
| 98 | 7 | 20 | 41 | 10 | 0 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 99 | 12 | 12 | 41 | 9 | 2 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 100 | 9 | 15 | 41 | 12 | 0 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 101 | 16 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 102 | 9 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 103 | 10 | 2 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 104 | 12 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 105 | 12 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 2 | 18 |
| 106 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 2 | 18 |
| 107 | 10 | 1 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 108 | 11 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 41 | 0 | 18 |
| 109 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 110 | 13 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 111 | 16 | 2 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 112 | 9 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 113 | 10 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 114 | 12 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 115 | 12 | 2 | 41 | 0 | 0 | 30 | 43 | 0 | 18 |
| 116 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| 117 | 10 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 44 | 0 | 18 |
| 118 | 11 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 2 | 18 |
| 119 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 42 | 0 | 18 |
| 120 | 13 | 0 | 41 | 0 | 0 | 30 | 45 | 0 | 18 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Ricardo Palma | | | | | | | | | |
| 121 | 16 | 4 | 42 | 3 | 10 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 122 | 19 | 0 | 42 | 21 | 11 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 123 | 24 | 0 | 42 | 4 | 12 | 27 | 58 | 1 | 25 |
| 124 | 26 | 0 | 42 | 7 | 13 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 125 | 15 | 0 | 42 | 6 | 10 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 126 | 20 | 0 | 42 | 7 | 13 | 27 | 55 | 2 | 25 |
| 127 | 12 | 10 | 42 | 5 | 10 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 128 | 23 | 0 | 42 | 8 | 7 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 129 | 15 | 0 | 42 | 5 | 15 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 130 | 23 | 0 | 42 | 9 | 12 | 27 | 58 | 2 | 25 |
| 131 | 16 | 4 | 42 | 3 | 10 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 132 | 19 | 0 | 42 | 21 | 11 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 133 | 24 | 0 | 42 | 4 | 12 | 27 | 55 | 4 | 25 |
| 134 | 26 | 0 | 42 | 7 | 13 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 135 | 15 | 0 | 42 | 6 | 10 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 136 | 20 | 0 | 42 | 2 | 13 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 137 | 12 | 10 | 42 | 5 | 10 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 138 | 23 | 0 | 42 | 8 | 7 | 27 | 55 | 0 | 25 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|---|-------|---|----|-------|----|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 139 | 15 | 0 | 42 | 5 | 15 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 140 | 23 | 0 | 42 | 9 | 12 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 141 | 12 | 7 | 42 | 5 | 0 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 142 | 9 | 6 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 143 | 14 | 3 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 144 | 15 | 2 | 42 | 9 | 2 | 27 | 58 | 1 | 25 |
| 145 | 16 | 5 | 42 | 8 | 0 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 146 | 8 | 7 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 147 | 12 | 3 | 42 | 10 | 0 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 148 | 15 | 4 | 42 | 5 | 1 | 27 | 56 | 0 | 25 |
| 149 | 13 | 6 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 150 | 14 | 2 | 42 | 7 | 3 | 27 | 58 | 2 | 25 |
| 151 | 12 | 7 | 42 | 5 | 0 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 152 | 9 | 6 | 42 | 7 | 0 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 153 | 14 | 3 | 42 | 7 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 154 | 15 | 2 | 42 | 9 | 2 | 27 | 54 | 0 | 25 |
| 155 | 16 | 5 | 42 | 8 | 0 | 27 | 54 | 3 | 25 |
| 156 | 8 | 7 | 42 | 7 | 0 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| 157 | 12 | 3 | 42 | 10 | 0 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 158 | 15 | 4 | 42 | 5 | 1 | 27 | 57 | 0 | 25 |
| 159 | 13 | 6 | 42 | 7 | 0 | 27 | 55 | 0 | 25 |
| 160 | 14 | 2 | 42 | 7 | 3 | 27 | 58 | 0 | 25 |
| Intersección Av. El Sol con Jr. Bancharo Rosi | | | | | | | | | |
| 161 | 17 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 162 | 13 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 3 | 20 |
| 163 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 164 | 12 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 165 | 13 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 7 | 20 |
| 166 | 11 | 2 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 167 | 16 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 168 | 16 | 5 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 169 | 14 | 3 | 30 | 0 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 170 | 15 | 4 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 171 | 17 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 83 | 3 | 20 |
| 172 | 13 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 173 | 9 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 174 | 12 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 2 | 20 |
| 175 | 13 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 176 | 11 | 2 | 30 | 0 | 0 | 27 | 85 | 0 | 20 |
| 177 | 16 | 0 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 178 | 16 | 5 | 30 | 0 | 0 | 27 | 85 | 3 | 20 |
| 179 | 14 | 3 | 30 | 0 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 180 | 15 | 4 | 30 | 0 | 0 | 27 | 82 | 0 | 20 |
| 181 | 20 | 3 | 30 | 6 | 8 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 182 | 10 | 0 | 30 | 7 | 7 | 27 | 86 | 3 | 20 |
| 183 | 13 | 0 | 30 | 10 | 6 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 184 | 12 | 0 | 30 | 12 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 185 | 9 | 2 | 30 | 10 | 0 | 27 | 83 | 0 | 20 |

Continúa...

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|---|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 186 | 10 | 0 | 30 | 12 | 3 | 27 | 82 | 5 | 20 |
| 187 | 9 | 3 | 30 | 10 | 5 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 188 | 13 | 1 | 30 | 8 | 9 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 189 | 11 | 4 | 30 | 11 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 190 | 6 | 3 | 30 | 8 | 3 | 27 | 85 | 0 | 20 |
| 191 | 20 | 3 | 30 | 6 | 8 | 27 | 83 | 0 | 20 |
| 192 | 10 | 0 | 30 | 7 | 7 | 27 | 84 | 2 | 20 |
| 193 | 13 | 0 | 30 | 10 | 6 | 27 | 85 | 0 | 20 |

| ITEM | VIA 1 | | | VIA 2 | | | DESFACE | | |
|------|-------|---|----|-------|---|----|---------|---|----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 194 | 12 | 0 | 30 | 12 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 195 | 9 | 2 | 30 | 10 | 0 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 196 | 10 | 0 | 30 | 12 | 3 | 27 | 84 | 6 | 20 |
| 197 | 9 | 3 | 30 | 10 | 5 | 27 | 85 | 0 | 20 |
| 198 | 13 | 1 | 30 | 8 | 9 | 27 | 84 | 0 | 20 |
| 199 | 11 | 4 | 30 | 11 | 0 | 27 | 86 | 0 | 20 |
| 200 | 6 | 3 | 30 | 8 | 3 | 27 | 83 | 0 | 20 |

LEYENDA:

- A : CANT VEHICULOS VIA PRINCIPAL (Und)
- B : TIEMPO LIBRE FINAL VIA PRINCIPAL (Seg)
- C : TIEMPO DE VERDE EN VIA PRINCIPAL (Seg)
- D : CANT VEHICULOS VIA SECUNDARIA (Und)
- E : TIEMPO LIBRE FINAL VIA SECUNDARIA (Seg)
- F : TIEMPO DE VERDE EN VIA SECUNDARIA (Seg)
- G : TIEMPO DE VIAJE ENTRE INTERSECCIONES SOBRE LA VIA PRINCIPAL (Seg)
- H : TIEMPO LIBRE INICIAL (Seg)
- I : TIEMPO DE DESFACE (Seg)

Elaboración : Propia


ANEXO 3: PRESUPUESTO

A3.1 Presupuesto de Implementación del controlador semafórico del proyecto

| TABLERO CONTROLADOR SEMAFORICO | | | | | |
|------------------------------------|--|--------|----------------|----------|-----------------|
| PRESUPUESTO DE SUMINISTRO Y ARMADO | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD TOTAL | PRECIO | PRECIO |
| | | | | UNITARIO | SUB. TOTAL |
| | | | | S/. | S/. |
| 1.00 | MATERIALES | | | | 1420.00 |
| | Tablero Eléctrico Mural TOTEN IP66 – 400x300x200 mm | UND | 1 | 140.00 | 140.00 |
| | Relé Inteligente Zelio Logic SR3 B101BD | UND | 1 | 350.00 | 350.00 |
| | Fuente de Alimentación 24VDC ABLMEM24012 | UND | 1 | 220.00 | 220.00 |
| | Módulo de Comunicación Modbus SR3 MBU01BD | UND | 1 | 240.00 | 240.00 |
| | 3.7.4.1.1.6 MÓDULO DE EXPANSIÓN E/S SR3 XT101BD | UND | 1 | 300.00 | 300.00 |
| | Llave termo magnética de 1x2Amp | UND | 1 | 25.00 | 25.00 |
| | Llave termo magnética de 1x8Amp | UND | 1 | 25.00 | 25.00 |
| | Accesorios para armado (Canaleta Ranurada, borneras, cable SIS, terminales, rotulos) | GLB | 1 | 120.00 | 120.00 |
| 2.00 | SERVICIO DE MONTAJE | | | | 450.00 |
| | Montaje, conexionado y rotulado de tablero | GLB | 1 | 450.00 | 450.00 |
| TOTAL INCLUYE IGV | | | | | 1,870.00 |

Elaboración : Propia

A3.2 Presupuesto de Controlador Sincronizado del Mercado.



MEGA DISPLAY EIRL
Teléfono: (01)-5662566 / Planta 566-5542

Empresa líder en la fabricación de productos LED y controladores de tráfico vehicular

COTIZACION
125-2016

Atendiendo su amable solicitud estamos enviando cotización de los productos requeridos, para nosotros es un placer poner nuestra compañía a su servicio.

| RUC | CLIENTE | CONTACTO | FECHA | CIUDAD |
|-------------|---|-------------------------------|-------------|----------|
| 20455950632 | SELMEC-IM S.R.L. | Cesar Gutierrez Cayo | 06-ago-2016 | Arequipa |
| TELEFONO | DIRECCION | E-MAIL | DESCUENTO | T. PAGO |
| 932552577 | Mza. e Lote. 13 Asoc. Artesanal el Molé | cesar.gutierrez@selmec-im.com | 10% | CONTADO |

| ITEM | CODIGO | DESCRIPCION | CANTIDAD | UNIDAD | VR. UNITARIO | VR. TOTAL |
|--|---------|---|----------|--------|--------------------|-----------------|
| 1 | CT3-522 | Controlador 15 salidas para semaforos peatonal y vehicular, para una interseccion | 1 | und | \$1,000 | \$1,000 |
| Construccion | | | | | | |
| Modulo logico programable con Microcontrolador | | | | | | |
| Modulo de Potencia de Estado Solido, para de lamparas LED | | | | | | |
| Fuente de poder 220VAC, con conectores de salida y fusibles | | | | | | |
| Reloj digital incorporado, con bateria de respaldo. | | | | | | |
| Programación | | | | | | |
| Programación Flexible, A través de Pantalla LCD | | | | | | |
| Programable en campo por Teclado | | | | | | |
| Programacion de tiempo para: Semaforo Vehicular | | | | | | |
| Amber intermitente en la madrugada. | | | | | | |
| Modos de Operación: | | | | | | |
| Cruce de 2 vias | | | | | | |
| Modo de operacion Manual | | | | | | |
| Otras características: | | | | | | |
| Cantidad de salidas independientes: 15 | | | | | | |
| Voltaje: 220 VAC | | | | | | |
| Frecuencia 60 Hz +/- 15% | | | | | | |
| Potencia 440 W por cada salida (para mas de 10 Semaforos Led) | | | | | | |
| Opciones: | | | | | | |
| Caja Adosable Hermética de con grado de proteccion IP64 | | | | | | |
| VALIDES DE LA OFERTA 15 DIAS, PRECIOS EN DOLARES AMERICANOS. | | | | | GRAN TOTAL | \$1,000 |
| | | | | | DTO | \$100 |
| | | | | | SUBTOTAL | \$900 |
| | | | | | I.V.A 18% | \$162 |
| | | | | | VALOR TOTAL | \$ 1,062 |

ATENTAMENTE
Jorge Luis Peraila
MEGA DISPLAY EIRL
Teléfono: (01)-5662566 / Planta 566-5542

Fuente: Mega Display