

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

La semaforización de vías urbanas es una actividad fundamental para que el tráfico urbano funcione con las menores demoras posibles, cuyo objetivo es mejorar la circulación y mejorar la seguridad vial.

Los semáforos son dispositivos también conocido técnicamente como señales de control de tráfico, son dispositivos de circulación del tráfico de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y por ende, el tránsito peatonal y estos han sido diseñados de tal forma que puedan ser accionados ya sea en forma manual o en forma automática.

Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y actualmente y debido a su rentabilidad, se están utilizando lámparas LEDs para la señalización luminosa, estas son construidas con LEDs de alto brillo para aplicaciones en señalización de tránsito, puesto que las lámparas de LEDs utilizan menor consumo de energía, tienen una vida útil superior, y por tanto generan importantes ahorros de energía y de mantenimiento, satisfaciendo el objetivo de conseguir una mayor fiabilidad y seguridad pública.

Con la siguiente investigación se pretende realizar una evaluación y comparación de la semaforización LED, en relación con la semaforización convencional de la ciudad de Tarija, con la cual se determinará las diferentes ventajas que proporciona el sistema LED desde el punto de vista técnico, económico y ambiental para así consolidar un solo sistema de semaforización en las intersecciones de la ciudad.

El aporte académico del siguiente proyecto de aplicación es poder brindar a nuestras autoridades municipales y departamentales una guía de referencia para poder apreciar la valorización de la semaforización LEDs para la ciudad de Tarija.

Proporcionar a estudiantes de la universidad, este material para realizar posibles consultas para trabajos relacionados con el mismo.

## **1.2.Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Situación problémica**

En la Ciudad de Tarija, han surgido conflictos en la semaforización con la que cuenta actualmente, la semaforización con lámparas incandescentes denota ciertas ineficacias, las cuales perjudican al elemento usuario.

Las características de esta semaforización está interfiriendo en la visibilidad del usuario especialmente durante las mañanas, ya que en ocasiones la luminosidad no es la necesaria ni la adecuada, o no se detecta que algunos focos del semáforo se encuentran en mal estado e incluso están fundidos, perjudicando notablemente a los usuarios que se encuentran en los vehículos que transitan por la ciudad, como así también a los peatones, denotándose que hay mucha circulación en la ciudad y mucha movilidad de gente, retrasándolos hacia su destino por este conflicto que se presenta, ya que puede ocasionar congestionamientos e incrementa el riesgo de accidentes.

Otro de los inconvenientes que se puede apreciar es la ineficacia en el mantenimiento que se le realiza a los semáforos con lámparas incandescentes, tomando en cuenta que el costo de este mantenimiento es muy elevado a causa de la escasa e impredecible vida útil de las fuentes luminosas, una baja confiabilidad y un elevado consumo de energía debido al bajo rendimiento de estas, ya que demora mucho tiempo para la realización del mismo, debido a que al ser muy morosas las reparaciones que se debe ejecutar, causan en este tiempo incertidumbre e inseguridad para la circulación de vehículos y peatones. Este tipo de semaforización con lámparas incandescentes requiere de mayor consumo de energía eléctrica, tiene una baja vida útil.

Todos estos factores mencionados anteriormente llevan a que una intersección que debería ser “segura” se vuelva sumamente peligrosa sin previo aviso, ocasionando problemas de tráfico como de congestionamiento, inseguridad, y posibles accidentes.

### **1.2.2. Problema**

¿Se puede establecer una valorización técnica, económica y ambiental entre la semaforización LED y la semaforización convencional de la ciudad de Tarija?

## **1.3. Objetivos del proyecto de aplicación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar y comparar las características técnicas, económicas y ambientales de la semaforización LED, en relación a la semaforización convencional de la ciudad de Tarija, con el fin de obtener una valorización, para determinar la mejor alternativa y así consolidar en una sola tecnología la operación de las intersecciones de la ciudad.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar toda la normativa de semaforización que está vigente en el país.
- Analizar la situación actual de la semaforización de la ciudad de Tarija.
- Realizar estudio de comportamiento de los semáforos convencionales y LED.
- Comparar las particularidades y características de la semaforización LED con la semaforización actual.
- Determinar la mejor alternativa, para la implementación de los sistemas en los semáforos.

#### **1.4.Hipótesis**

Si se realiza una evaluación y comparación al comportamiento de la semaforización LED en relación con la semaforización convencional de la ciudad de Tarija, entonces se podrá afirmar si la implementación de la semaforización LED es la alternativa más favorable.

#### **1.5.Población.- (Sistema semafórico con óptica LED)**

La población son los semáforos con óptica LED, estos están ubicados dentro del sistema semafórico de la Ciudad de Tarija, y estos van hacer utilizados para fines investigativos.

#### **1.6.Muestra**

La muestra comprenderá en los semáforos con óptica LED, el cual será evaluado como se estableció en la hipótesis, para comprobar los beneficios que proporcionan los semáforos con óptica LED, tanto al usuario conductor, peatón, desde lo técnico, económico y ambiental.

La muestra consistirá en 40 intersecciones del sistema semafórico de la Ciudad de Tarija que cuenten con semáforos con óptica LED, para la realización de la evaluación, además se realizará como de carácter comparativo y de justificación 10 intersecciones que cuenten con los semáforos convencionales (normales).

### **1.7.Muestreo**

En estadística se conoce como muestreo a la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

En este trabajo el muestreo consistirá en la inventario de los semáforos existentes en la ciudad de Tarija, realizando un recorrido por la ciudad identificando detalladamente la ubicación de los mismos, diferenciar los tipos de semáforos y clasificarlos.

### **1.8.Justificación**

En éstos últimos años se vio un crecimiento muy notable del parque automotor en la ciudad de Tarija, por lo tanto este crecimiento trae diversos problemas en ciertas áreas de la ciudad como ser en las calles y avenidas principales, más aún en la zona céntrica de Tarija.

Al crecer el número de vehículos y el crecimiento de vehículos futuros, hace que traiga diversos problemas en el tráfico. En nuestra ciudad se ha incrementado el número de vehículos privados a tal punto que ha invadido los centros urbanos y haciendo más difícil la circulación, creando congestionamientos, inclusive accidentes por lo cual es necesario llevar a cabo mejoras y modernización en la ciudad.

Todo estos problemas que mencionamos anteriormente se produce por la falta de planificación, el cual se va incrementando con el pasar del tiempo, debido a la falta de estudio en nuestra ciudad hablando específicamente del tema de semaforización.

Este estudio nos servirá para demostrar las ventajas que proporciona la implementación de semaforización LED en la ciudad, tanto para el usuario peatón como para el conductor, ya que el LED es un elemento de bajo consumo de energía eléctrica, larga vida útil y de una alta luminiscencia que permite actualizar los semáforos y adecuarlos a los niveles de tránsito actual, también requiere menor tiempo de mantenimiento por

tanto será menor el costo del mismo, brindando un mayor nivel de seguridad vial a nuestra zona urbana, mejorará la circulación de vehículos y peatones y reducirá posibles accidentes.

Se propone la colocación de LED en todas las intersecciones semaforizadas para lograr una mejora en la seguridad vial, reducir el consumo de energía eléctrica, y bajar los costos en el mantenimiento de sistemas de semaforización.

### **1.9. Metodología**

Se procederá a realización de una evaluación técnica, económica y ambiental a los semáforos con óptica LED la cual se desglosa de la siguiente manera.

- Ubicación del área de estudio: Lo primero que se realizará es delimitar toda la zona de estudio, el cual consiste en el sistema semafórico de la ciudad de Tarija, ya que es nuestra población, a la cual se evaluará el comportamiento, siempre comparando con los semáforos convencionales que cuenta la ciudad, para la determinación de sus ventajas y desventajas.
- Descripción de las características del área de estudio: Se realizará un reconocimiento de todo el lugar y se determinará la ubicación detallada del sistema semafórico de la ciudad de Tarija, en cuanto a las intersecciones que se encuentra semaforizadas, identificando cuales son semáforos con óptica LED y los semáforos convencionales.
- Inventario de los 40 semáforos con óptica LED y 10 semáforos convencionales
- Mediciones del comportamiento: El cual consta desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Desde el punto de vista técnico consistirá en realizar aforos de colas de vehículos, en tres horas picos que se presenta en el día, en periodos de 15 minutos, en dos días hábiles y un día no hábil, este consiste en registrar cuantos vehículos hacen cola cuando el semáforo está en fase roja y cuantos vehículos de la cola no logran circular cuando el

semáforo cambia a fase verde, del cual se determinará la eficiencia del semáforo y realizar un análisis y una comparación entre los semáforos LED y el semáforo convencional.

En el aspecto de luminosidad se procederá a medir la cantidad de flujo luminoso que emiten los semáforos LED y los semáforos convencionales, para que con estos datos obtener valores promedios y realizar la comparación en cuanto a cual es más eficiente respecto a la luminosidad.

En cuanto al parámetro ambiental, que es respecto al consumo de energía eléctrica que generan los semáforos de la ciudad, se obtendrán datos proporcionados por el almacén de Alumbrado Público del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija, para el cual se hará un análisis de la variación de consumo y ahorro efectivo.

Desde el punto de vista económico, teniendo el consumo de energía eléctrica se procederá a expresar estos consumos en costo económico, que generan los semáforos LED y semáforos normales, para lo cual se necesitará obtener datos de la tarifa que cobra SETAR por kwh mensuales al sector de Alumbrado Público, y así expresar los consumos de energía en Bs. Kwh mensuales. Al cual se analizará la situación actual del sistema semafórico de la Ciudad de Tarija.

Realizando todo el análisis de los resultados finales se llegara a obtener soluciones y conclusiones de todo el estudio realizado, como también se puedan dar las recomendaciones necesarias producidas que surgieron del estudio en el transcurso de todo el análisis del tema, con los resultados obtenidos se realizará una valorización de las ventajas y desventajas que proporciona el semáforo LED, para realizar la propuesta definitiva que será la implementación de los semáforos con óptica LED en todas las intersecciones semafóricas de la ciudad de Tarija.

#### **1.10. Alcance del estudio**

El parque automotor de nuestra ciudad se va incrementando y trae consigo el problema de congestión en calles y avenidas con vehículos que incomoda a conductores y peatones como a la población en general; en ocasiones produciendo accidentes, lo que hace que se debería realizar estudios de tráfico y tomar en cuenta los factores que intervienen en esta problemática.

Uno de los lugares importantes de nuestra ciudad que es la zona céntrica de Tarija, se ve la necesidad que se realice estudios de tráfico para ver el actual comportamiento y prever acciones hacia el futuro en el lugar.

El alcance de este estudio es que mediante el problema determinado en la ciudad debido a que existen semáforos que no funcionan correctamente, que no brindan una luminosidad suficiente, e incluso se detectó semáforos con focos fundidos, se ha propuesto objetivos para solucionar el mismo, que revisando la bibliografía necesaria para conocer los conceptos fundamentales de la investigación y basándose de un proceso metodológico, se realizará diferentes mediciones al comportamiento de los semáforos de la ciudad de Tarija, tanto a los semáforos con sistema LED como a los semáforos convencionales, se lograra cumplir los objetivos trazados, con el fin de establecer valorización técnica económica y ambiental, y establecer una propuesta que es de consolidar en una sola tecnología la operación en las intersecciones de la ciudad. De este estudio se podrá obtener conclusiones y recomendaciones que se vean necesarias para este tipo de estudio y así se podría prever las acciones a tomar en el futuro de la zona estudiada.

## **CAPÍTULO 2**

### **SEMAFORIZACIÓN EN LA INGENIERÍA DE TRÁFICO**

## **2.1. Definición de la ingeniería de tráfico**

Existen varias definiciones de autores diferentes que viene a contribuir a la discusión y solución de diferentes ángulos de la ingeniería de tráfico.

La ingeniería de tráfico o ingeniería de transporte es la rama de la ingeniería civil que trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras y su relación con los diferentes medio de transporte consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de mercancías.

Se entiende por ingeniería de transportes y vías, el conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas, prácticas profesionales, principios y valores, necesarios para satisfacer las necesidades sociales sobre movilidad de personas y bienes.

La ingeniería de transportes y vías, es una especialidad de la profesión de ingeniería basada en la aplicación de ciencias físicas, matemáticas, químicas, la técnica y en general el ingenio, en beneficio de la humanidad.

El ingeniero de tráfico en vez de construir nueva infraestructura introduce de elementos dinámicos y estáticos (señales de tráfico, semáforos, paneles, sensores) para regular y dirigir el tráfico maximizando la capacidad de la vía.

## **2.2. Elementos del tránsito**

### **2.2.1. El usuario**

El hombre por ser sujeto de la acción, puede considerarse como el principal elemento ya sea como conductor de un vehículo, pasajero en el mismo, o como peatón haciendo uno como vía pública. El papel más grande desde la óptica de la ingeniería de tránsito, es como conductor de un automotor ya que en sus manos, en su experiencia y en su

pericia para ejecutar maniobras en el tránsito, radica la integridad física de muchas personas, el elemento usuario es aquel que corresponde al conductor y al peatón.

### **2.2.1.1. Conductor**

El conductor es considerado en forma individual o colectiva aquella persona que maneje un vehículo motorizado que circula en el tráfico. Este elemento está sujeto en su comportamiento a unos análisis físicos y a las reacciones físicas y psicológicas que pueda tener al manejar un vehículo.

**Figura 2.1** Usuario conductor dueño de decisiones de maniobras del vehículo



**Fuente:** Elaboración Propia.

#### **2.2.1.1.1. Condiciones físicas y psicológicas**

Las características y condiciones físicas de un conductor están relacionadas con algún impedimento físico que no habilite al usuario conductor para conducir los vehículos, normalmente no ocurre, sino en casos excepcionales que conductores con algún impedimento físico pretenden conducir vehículos, sin embargo una condición física que es necesaria como la visión, en muchos casos pese a ser un impedimento con medidas correctivas se les puede otorgar permisos para conducir vehículos. De este

problema de la visión, puede haber enfermedades como la miopía y otras que pueden ser corregidas. Pero la enfermedad del daltonismo que se refiere a la visión equivocada de colores es un impedimento para conducir vehículos.

### 2.2.1.2. Peatón

Se llama peatón a toda persona que camina por los diferentes lugares, como peatón potencial tenemos a la población en general, que comprenden personas desde un año hasta de cien años. Por otra parte, es importante estudiar el peatón porque no solamente es víctima del tránsito, sino también una de sus causas.

El peatón es motivo de análisis para la planeación de calles y aceras, en general, aún no ha comprendido lo que significa el transporte automotor. En las actividades comunes del peatón en las calles, en la vida diaria, sigue existiendo una situación anormal.

**Figura 2.2** Peatones cruzando vía pública



**Fuente:** Elaboración Propia.

Para conocimientos generales la velocidad con que transitan los peatones en ciudades de más en 100000 habitantes está entre 1 y 1.4 m/seg y en ciudades con menor de 100000 habitantes las velocidades de circulación peatonal son menores a 1 m/seg, estos

son parámetros generales tomando zonas comerciales; sin embargo pueda haber muchas diferencias entre ciudades y en cada punto crítico donde haya afluencia de gente. El elemento peatón tiene una mayor incidencia de problemas de tráfico en el área urbana y no así en carreteras donde su incidencia es casi mínima.

### 2.2.2. Vehículo

El principal objetivo de una vía es servir al tráfico vehicular. Por lo que se tiene que lograr que la circulación sea segura, económica y cómoda para conductores y pasajeros; para ello al proyectar las carreteras es necesario tener en cuenta las características de los vehículos.

**Figura 2.3** Vehículos usuarios de la vía pública



**Fuente:** Elaboración Propia.

El vehículo es elemento importante el estudio para cualquier proyecto o análisis de estudio en calles o carreteras.

#### 2.2.2.1. Características de los Vehículos de Proyecto

En general **el vehículo de análisis** es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo.

En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos de proyecto: los vehículos ligeros o livianos y los vehículos pesados, clasificados éstos en camiones y autobuses. Las principales características para su clasificación están referidas al radio mínimo de giro.

**Vehículo ligero o livianos** de proyecto, éste puede ser utilizado en intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo. También puede ser utilizado en intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, los cuales obligan el uso de radios pequeños en las esquinas aún aceptables.

**Vehículo pesado** de proyecto, éste se utiliza con respecto a la capacidad de carga, y estacionamientos de pasajeros, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros y descarga de mercancías.

### 2.2.3. La Vía

La vía en general, es un elemento esencial del problema de tráfico, que representa el área por donde circulan los vehículos tanto en centros urbanos como fuera de ellos, las características de las calles o carreteras al ser elementos físicos, cuya construcción por lo general es único y no tiene adelantos a través del tiempo, se ha convertido en el elemento más estático que produce una incongruencia con el avance tecnológico, con el vehículo y con el aumento de población como usuario, peatones y conductores.

La vía como elemento tiene caracterizado y está conformando por un ancho, un alineamiento y una pendiente, que deben ser adecuadamente diseñadas para permitir la

circulación vehicular, estos tres elementos va a tener sus propias características, si la vía es perteneciente al trazo urbano o si la vía es una carretera, sin embargo independiente de la geometría de estas, lo que nos interesa como ingeniería de tráfico es que en ella haya una circulación de vehículos cuyo comportamiento depende de las condiciones de circulación y las condiciones de ordenamiento.

### 2.2.3.1. Vías Urbanas o Calles

En caso de las vías urbanas que son las que permite la circulación dentro de las ciudades, están generalmente divididas por la importancia que tienen dentro del tráfico o por las características físicas y geométricas que tiene para la circulación del tráfico.

**Figura 2.4** Vías urbanas o calles



**Fuente:** Elaboración Propia.

- Desde el punto de vista de las características de circulación las calles pueden clasificarse en principales a secundarias. Siendo principales las que tienen el flujo direccional. Y secundarias el que tiene el flujo vehicular transversal, cuando tienen esta definición, tienen preferencia de paso las vías principales frente a las vías secundarias.

- Otra clasificación de las vías urbanas es en arteriales (principales), colectoras (secundarias) y terciarias o locales. Se llaman arteriales a las que lleva el flujo direccional principal, normalmente las calles arteriales esencialmente debe tener una mejor geometría y características físicas en cuanto al ancho, alineamiento y pendientes.
- Clasificación de las vías es por el número de sentidos del flujo vehicular y a su vez da origen a intersecciones de diferentes tipos en el cruce de estas vías, por lo tanto la división sería en calles de un solo sentido, calles de doble sentido y las avenidas. Las calles de doble sentido podrán ser separadas físicamente o no separadas físicamente.

### **2.3. Parámetros de la Ingeniería de Tráfico**

En este estudio teórico de los parámetros de tráfico, solo se verán los parámetros de tráfico más importantes en los que estén orientados y relacionados conceptualmente con el tema de semaforización.

Este estudio preliminar ayudará a fortalecer el conocimiento para el posterior desarrollo del tema planteado.

#### **2.3.1. Volumen del Tráfico**

Se denomina volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan por una calle o carretera, por un determinado tiempo. Esta unidad de tiempo puede ser horaria o diaria. En función de los períodos de tiempo se establecen diferentes tipos de medición de volúmenes de tráfico, los más empleados son:

##### **a) Tráfico promedio horario (T.P.H.)**

Es aquel que se mide en tiempos de una hora y resultará más significativo ya que nos muestra su comportamiento de la circulación durante cada hora. Pudiendo establecer cuáles son las horas críticas respecto al volumen de tráfico, estas horas críticas se denominan horas pico.

**b) Tráfico promedio diario (T.P.D.)**

Es el tráfico registrado durante un día en una calle o carretera, nos puede establecer la variación diaria, su valor no resulta significativo ya que el valor obtenido para el día no refleja las variaciones que pudiera tener durante el día.

**c) Volumen directriz.**

Es la cantidad máxima de vehículos que debería circular en una carretera o calle de manera que sea coincidente con sus características geométricas y su capacidad vehicular.

**2.3.1.1. Diferencia entre Volumen e Intensidad**

La diferencia entre volumen e intensidad de tráfico es importante. El volumen es el número real de vehículos que pasan por una sección durante un intervalo, pero expresados a través de una intensidad horaria equivalente. La intensidad de tráfico se obtiene dividiendo el número de vehículos observados durante un período sub-horario entre el tiempo de observación (en horas).

### **2.3.1.2. Flujo direccional**

Se entiende por flujo direccional al mayor volumen de tráfico que circulan en el sentido de una carretera o calle. De manera que nos demarque cuáles son las que tienen mayor flujo y cuál es el sentido de este flujo al que se denomina flujo direccional.

### **2.3.1.3. Características del Volumen de Tráfico**

Los volúmenes de tráfico siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el período de duración de los aforos. Sin embargo debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y en los diferentes lugares.

Por lo tanto es fundamental en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tráfico dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en días de la semana y en los meses del año, aún más también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tráfico en función de su distribución por carriles, su distribución direccional su composición.

#### **2.3.1.3.1. Aforos de volúmenes**

##### **a) Aforos manuales**

Son realizados definiéndose puntos sobre la carretera o calle a ser estudiada, sección en la cual se debe realizar el conteo de vehículos que pasan en tiempos determinados, ya sean horarios o diarios. Para ello es necesario contar con personal capacitado para realizar esta operación, los aforos manuales generalmente son realizados en períodos

cortos de tiempo especialmente en horas pico, los cuales son generalmente en tiempos menores a una hora como ser 5, 10, 15, 20, ó 30 minutos. Posteriormente, se los expande a una hora empleando factores como por ejemplo emplear 4 veces el volumen correspondiente a 15 minutos.

Los recuentos manuales son los más caros y sólo se realizan para conseguir datos que no es posible obtener mediante procedimientos mecánicos, tales como la clasificación de vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes en los mismos.

En intersecciones donde el volumen es bajo, la clasificación tanto de los movimientos del tráfico, la clasificación, etc., se pueden llevar a cabo por una sola persona, pero en intersecciones con semáforos el trabajo se torna más difícil.

En síntesis, el procedimiento de los recuentos manuales de los volúmenes de tráfico se reduce a una persona con un lápiz, realizando marcas en un formato de registro, el mismo que deberá ser previamente preparado de acuerdo a la información que se quiera recabar.

#### **b) Recuentos automáticos.-**

Son los que permiten realizar recuentos de vehículos sin ocupar personal permanentemente, el más utilizado es el de un tubo de caucho en cuyo extremo se encuentra una membrana que es colocada en forma transversal de una calle o carretera; y al paso de cada vehículo sobre el tubo se produce un impulso de aire sobre la membrana, la cual produce un contacto eléctrico a un aparato contador que va sumando los impulsos recibidos.

Estos contadores registran los volúmenes totales registrándolos en una cinta, y una persona encargada tiene que ir a hacer las observaciones correspondientes, los contadores pueden ser fijos o móviles, los fijos se los utiliza para hacer recuentos continuos en ciertos sectores.

Los contadores portátiles poseen un acumulador como fuente de energía y un tubo neumático como unidad captadora, son utilizados para recuentos parciales en determinados períodos de tiempo.

La desventaja de los contadores automáticos es que no permiten clasificar a los vehículos de acuerdo a su tipo o los giros que realizan los vehículos, pero pueden hacerse clasificaciones por sentido del movimiento colocando los tubos de caucho solamente sobre los carriles destinados a la circulación en un sentido.

### **2.3.2. Velocidad**

La velocidad es un elemento fundamental del tráfico porque depende de ella el comportamiento vehicular y tiene una relación directa con otros parámetros fundamentales, dependiendo de las condiciones en que circula un vehículo por las calles o carretera se condiciona su velocidad. En la práctica existen diferentes velocidades que se pueden determinar cómo ser: velocidad de punto, velocidad de recorrido total, velocidad de cruce, velocidad directriz o de diseño y velocidad media de circulación.

### **2.3.3. Capacidad Vehicular**

La capacidad vehicular es un parámetro del tráfico muy importante que tiene por objetivo determinar la cantidad máxima de vehículos que circulan por una calle o carretera en un período de tiempo determinado normalmente de una hora.

La capacidad vehicular está muy relacionada con el volumen del tráfico ya que se debe establecer una correlación entre estos dos parámetros cuyas posibilidades pueden ser:

- Capacidad real = volumen de tráfico

- Capacidad real  $>$  volumen de tráfico
- Capacidad real  $<$  volumen de tráfico

Si analizamos las tres posibilidades se podrá definir lo siguiente:

**Primera** nos coloca en el límite crítico en el cual el volumen de tráfico ha alcanzado la capacidad máxima de la calle o carretera. En este caso será prudente buscar alternativas para no llegar al caso inestable.

**Segunda** si la capacidad es mayor al volumen de tráfico las condiciones de flujo vehicular se pueden considerar estables y se debe tratar de mantener esta estabilidad en el flujo vehicular.

**Tercera** si la capacidad es menor al volumen del tráfico, la circulación es inestable ya que los volúmenes han superado la capacidad de la calle o carretera. Esto quiere decir que el flujo esta congestionado.

#### **2.3.4. Nivel de servicio**

La relación volumen capacidad establece un condicionamiento del flujo vehicular, este condicionamiento se ha tratado de conceptualizar en el nivel de servicio que es la característica cualitativa que tiene la calle o carretera con respecto al flujo vehicular, por lo tanto esa cualidad que va hacer variar desde el extremo de tener un flujo libre con libertad de maniobras y libertad de velocidad hasta la otra condición crítica de tener un flujo congestionado cuya velocidad esté cercana a 0 (cero) y produzcan largas colas en el flujo y esté restringido totalmente de cualquier maniobra.

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985 , Special Report 209, traducido al español por la Asociación Técnica De Carreteras de España, ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C , D, E ,F que van del mejor al peor, y los cuales describimos a continuación:

##### **Nivel de servicio A**

Representa el flujo libre con libertad de maniobras de velocidad, por parte del usuario no tienen ninguna restricción que controle la circulación vehicular.

### **Nivel de servicio B**

Comienza aparecer restricción al flujo vehicular, algunas maniobras son restringidas y las velocidades son más bajas pueden ocurrir algunas interferencias con otros vehículos.

### **Nivel de servicio C**

Representa condiciones medias en la circulación vehicular con flujo estable, se consideran las velocidades en el margen de velocidad de proyecto, las interferencias con otros vehículos son todavía tolerables por estar en condiciones medias, se considera este nivel de servicio para el diseño.

### **Nivel de servicio D**

El flujo todavía es estable pero ya no existen libertades para la velocidad de circulación como para las maniobras, ocurren interferencias frecuentes con otros vehículos reduciendo significativamente la velocidad de circulación.

### **Nivel de servicio E**

Es aquel donde la circulación por el volumen de tráfico está en el límite de la capacidad, no hay libertad de maniobra, velocidad baja, interferencia frecuente dando lugar a colas de vehículos generando congestión vehicular.

### **Nivel de servicio F**

Representa a la circulación congestionada se rompe la continuidad de flujo vehicular, se forman largas colas y el flujo se caracteriza por constantes paradas y avances cortos.

### **2.3.5. Señalización**

La señalización son métodos para regular el tráfico vehicular, que se emplean para indicar detalladamente a los usuarios de las vías públicas, la forma correcta y segura de transitar por ellas a fin de evitar accidentes y demoras innecesarias. Entre las funciones de la señalización se encuentra prevenir a conductores y peatones sobre peligros existentes y guiarlos en sus recorridos por las vías.

#### **2.3.5.1. Clasificación de las señales**

La señalización dentro de la ingeniería de tráfico establece una primera clasificación en dos tipos de señales:

- a) Señales horizontales.
- b) Señales verticales.

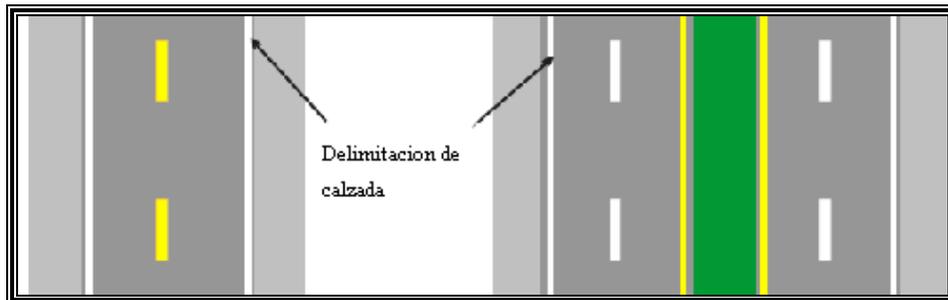
##### **2.3.5.1.1. Señales Horizontales**

Las señales horizontales son aquellas marcas sobre el pavimento que se colocaron a lo largo de las carreteras y calles con el propósito de delimitar áreas de circulación y regular la circulación vehicular de manera que sea un control con el resto de parámetros de tráfico, como la velocidad, volumen, capacidad, estacionamientos, etc. Entre las cuales podemos indicar las siguientes:

### a) Delimitación de calzada

En carreteras o en calzada urbanas, el alto tráfico se hace una delimitación de la calzada, separando con dos líneas blancas paralelas al eje que son pintadas continuas sobre el pavimento, cuyo ancho varía de 0.10 m. a 0.15 m. a lo largo de la carretera o la calle urbanas de alto tráfico.

**Figura 2.5** Señal Horizontal: Delimitación de la calzada



**Fuente:** Manual de Estudios de Ingeniería de tránsito Box, Paule, Oppenlander

### b) Delimitación de carril por sentido

Cuando la calzada corresponde a carriles en ambos sentidos se delimita con una línea central a los carriles que corresponden en cada sentido, si la calzada corresponde a dos carriles uno por sentido, la delimitación se hace con una franja amarilla continua cuyo ancho varía entre 0.10 a 0.15 m. a lo largo de la carretera o calle.

Si la carretera corresponde a dos o más carriles por sentido, la delimitación es con una franja doble amarilla continua con un espesor de 0.10 a 0.15 m., para las franjas un espacio de separación de 0.10 a 0.20 m.

### c) Cruce de peatones

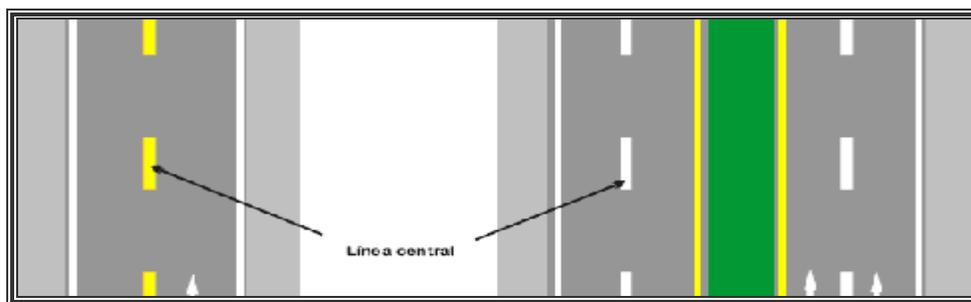
Las señales de peatones tiene el objetivo de delimitar el área transversal al eje de la calzada que debe usar el peatón para cruzar de un extremo a otro en las calzadas a las

intersecciones, su ubicación depende de la visibilidad que se tenga en cada acceso hacia la calle transversal, a partir de ese punto de cruce de visibilidad tangencial se colocan la línea de parada, después de la línea de parada se colocará la línea de peatón de 0.50 a 1.0 m. antes de la línea de intersección, de 2.5 a 5 m. de longitud.

#### d) Línea para delimitación de carriles

Las señales de delimitación de carriles tiene el propósito en calzada de dos o más carriles de delimitar cada uno de los carriles, para ello se traza una franja paralela al eje la delimitación entre carriles con una línea segmentada discontinua de color blanco con ancho de 0.10 a 0.15 m., la separación de esta franja depende de la velocidad ya que a mayor velocidad se podrá tener las franjas más separadas y a menor velocidad las franjas serán más unidas de manera que la percepción de un conductor sea una línea continua.

**Figura 2.6** Señal Horizontal: Delimitación de carriles



**Fuente:** Manual de Estudios de Ingeniería de tránsito Box, Paule, Oppenlander.

#### e) Líneas de parqueo o estacionamiento

Estas señales tienen el propósito de delimitar áreas que son de uso exclusivo de parqueo o estacionamiento, que en lo posible no ocupen la calzada es decir sean áreas colindantes con la calzada pero fuera del ancho de ella, su carácter es poner franjas oblicuas con inclinación de 30° 45° 60° 90° indicadoras del ingreso y la salida de esa

área, el ancho de estas franjas varía de 0.40 a 0.50 m también son intercaladas es decir espacios pintados y no pintados.

#### **f) Flechas direccionales**

Las flechas direccionales son señales que va en el pavimento con el propósito de indicar a los conductores el sentido del flujo vehicular, en el caso de las carreteras no tienen un uso continuo ya que hay muy poca presencia de accesos por lo tanto se recomienda sólo colocar estas señales con proximidad antes de sus accesos. En el caso de las ciudades su uso es más continua en general en todas las intersecciones, en los accesos que corresponda puede haber señales direccionales simples o compuestas.

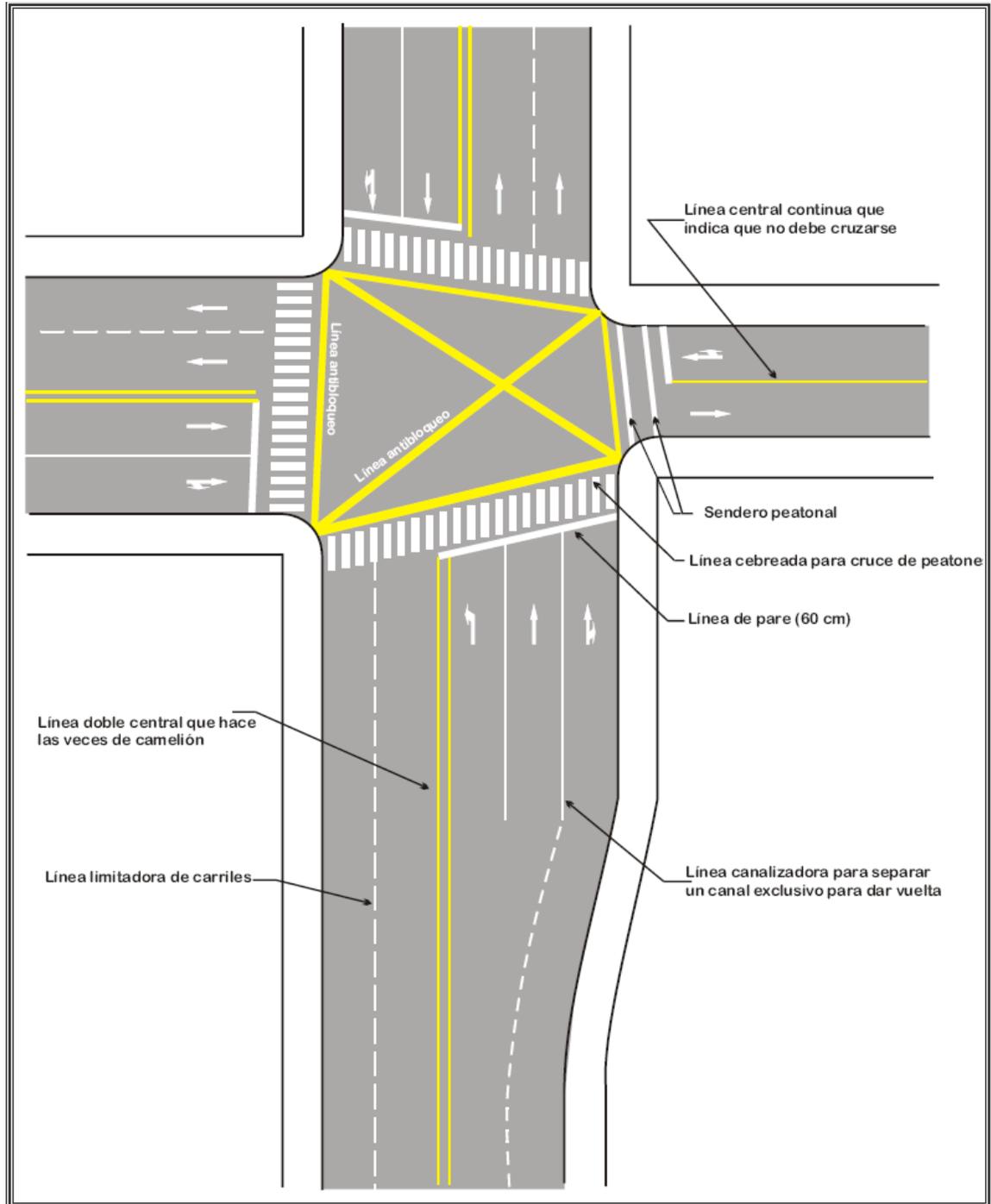
#### **g) Línea de parada**

La línea de parada son señales horizontales cuyo propósito es delimitar una franja en la cual el vehículo debe detenerse antes de la intersección, ya que delante de la línea de parada, está la línea de peatones que debe tener seguridad en su utilización, estas líneas de parada son líneas blancas continuas perpendicular al eje y tiene un ancho de 0.30 a 0.50m.

#### **h) Isletas deflectoras**

Este tipo de señales tiene el propósito de servir como elementos de orientación a la circulación y de espacios muertos que no van hacer utilizados por la circulación, puedan ser resaltados con marcas viales que indiquen la dirección del flujo generalmente están pintadas con franjas amarillas e inclinadas en sentido del flujo.

**Figura 2.7** Señales Horizontales



**Fuente:** Manual de Estudios de Ingeniería de tránsito Box, Paule, Oppenlander

### **2.3.5.1.2. Señales Verticales**

Dentro de las señales verticales tenemos la siguiente clasificación:

- Señales preventivas.
- Señales restrictivas.
- Señales informativas.

#### **a) Señales preventivas**

Estas señales tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre un lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza.

La señal por sí misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón.

Dentro de este tipo de señales tenemos como ser: la existencia de una curva, la presencia de puente angosto, pendiente peligrosa, zona de derrumbes, peatones, escolares, semáforo, ciclistas, etc.

El tablero de las señales preventivas será de forma cuadrada, de esquinas redondeadas, que se colocará con una de sus diagonales en sentido vertical tomando la forma de diamante.

La ubicación de las señales preventivas en sentido longitudinal será antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de aproximación.

**Figura 2.8** Señales de prevención



**Fuente:** Dispositivos para el Control de Tránsito (Internet).

### b) Señales Restrictivas

Tienen como función expresar en la carretera o calle alguna fase del reglamento de tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario. En general, tienden al restringir

algún movimiento del mismo, recordando de la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Estas señales preventivas pueden ser las siguientes: alto, ceda el paso, giro a la derecha, estacionar, no estacionada, no girar en U, prohibido adelantar, etc.

**Figura 2.9** Señales Restrictivas

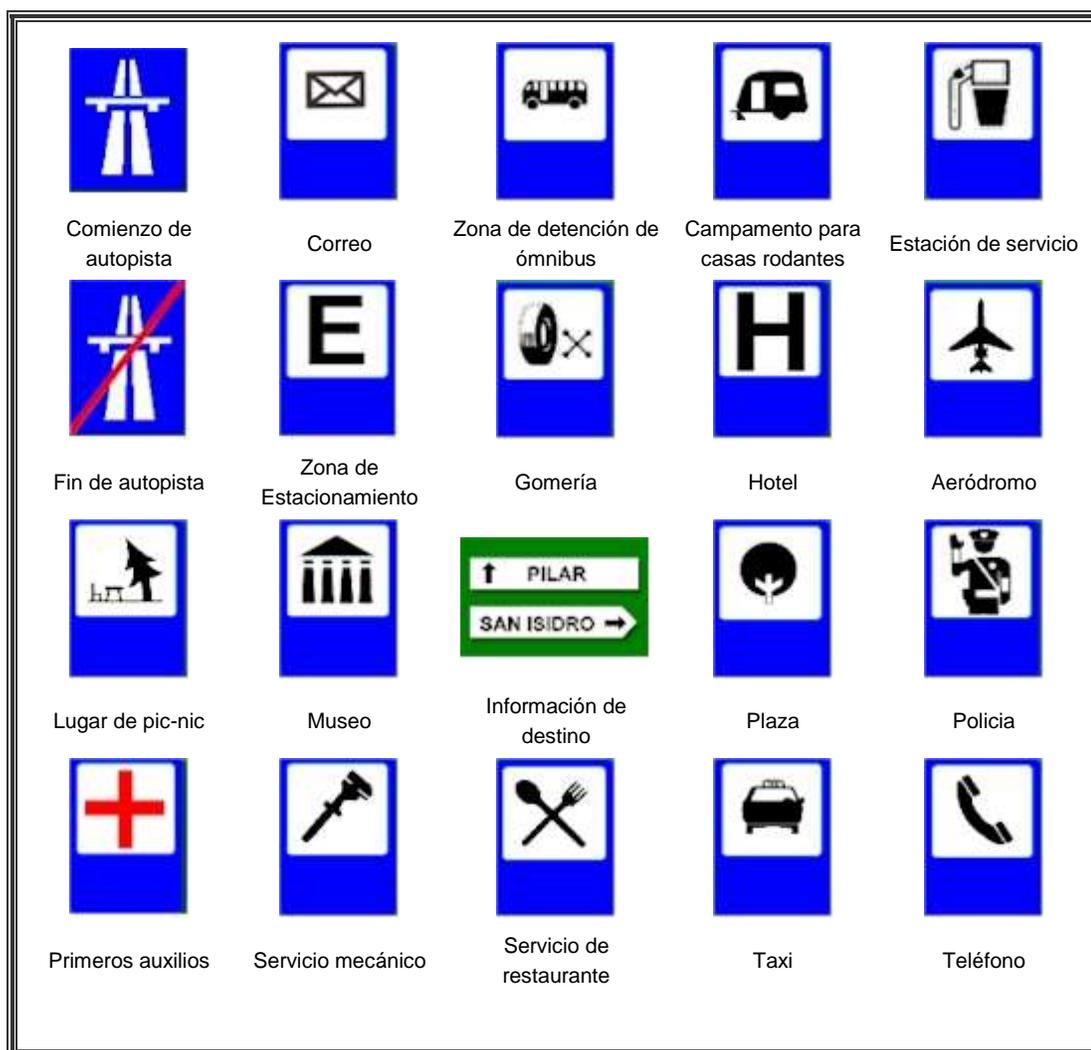


**Fuente:** Dispositivos para el Control de Tránsito (Internet).

### c) Señales informativas

Las señales informativas, tienen como función guiar al usuario a lo largo de su recorrido, por calles y carreteras e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar.

**Figura 2.10** Señales de Información



**Fuente:** Dispositivos para el Control de Tránsito (Internet).

## 2.4. Semaforización

Hacia mediados del siglo XIX, décadas antes de que los coches colapsaran las calles de las ciudades, especialmente en zonas muy concurridas de las grandes capitales, la densidad de carruajes era tan grande que no bastaba con ceder el paso. De vez en cuando se producían accidentes y para el peatón era difícil cruzar las calles, uno de los lugares en los que esto ocurría regularmente era delante de las Cámaras del Parlamento Británico, en el Palacio de Westminster, siendo aquí en donde se construyó el primer semáforo de la historia.

El ingeniero ferroviario J. P. Knight diseñó el primer semáforo en 1868, quien se basó en una copia de los semáforos de las vías de tren: tenía dos brazos móviles accionados por cables en el interior de la torre. Cuando el brazo estaba abajo, se podía pasar. Si se levantaba horizontalmente, había que detenerse y, si formaba 45 grados con la horizontal significaba “precaución”.

Este tipo de dispositivo, no era automático desde luego, había un policía en la base de la torre las 24 horas del día operando los brazos de manivela; con el tiempo el Ingeniero J.P. Knight tuvo en cuenta el tráfico nocturno de la ciudad y adicióno dos luces de gas, una roja y otra verde para el funcionamiento nocturno, estas luces podían ser alternadas mediante el accionamiento de una palanca.

No pasó mucho tiempo hasta que se crearon los semáforos eléctricos, pero con ellos surgió otro problema: no era posible tener un policía por cada semáforo para su control, y de ser así, no existía manera de que estos estuviesen sincronizados. Luego en 1922 en Houston, Texas, E.E.U.U, se puso en funcionamiento una torre centralizada que controlaba hasta doce semáforos sin ninguna intervención humana, esto gracias a los circuitos programadores eléctricos.

Con la evolución de la electrónica y la llegada de los computadores, los sistemas más modernos, no encienden y apagan los semáforos al tiempo, van poniendo las luces en

verde a lo largo de una calle en forma de cascada, de modo que se forma una “banda verde” en la que avanza el tráfico.

## **2.5. Aspectos Generales de la Semaforización**

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos colocados específicamente para facilitar el control de tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de colores universalmente aceptados, como son el verde, el amarillo y el rojo. La finalidad es la de permitir el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

### **Ventajas**

- Ordena la circulación del tránsito, mediante una asignación apropiada del derecho al uso de la intersección.
- Reduce la frecuencia de cierto tipo de accidentes.
- Con espaciamientos favorables se pueden sincronizar para mantener una circulación continua, o casi continua, a una velocidad constante en una ruta determinada.
- Permiten interrumpir periódicamente los volúmenes de tránsito intensos de una arteria, para conceder el paso de vehículos y peatones de las vías transversales.
- Representan una economía considerable por su mayor habilidad en el control del tránsito con respecto a la utilización de otras formas de control, como por ejemplo señales o policías de tránsito.

### **Desventajas**

- Incrementan número de accidentes, por cambios sorpresivos de color.
- Se incurre en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto con señales u otra forma económica.

- Causan demoras injustificadas especialmente a cierto número de usuarios, especialmente a volúmenes de tránsito pequeños.
- Producen reacción desfavorable en el público, por la falta de respeto hacia ellos o hacia las autoridades.
- Aumentan la frecuencia o gravedad de ciertos accidentes, en caso de focos fundidos o interrupciones de servicio eléctrico.
- En intersecciones rurales, la aparición intempestiva produce por lo general accidentes, cuando no existe avisos previos adecuados.

## 2.6. Clasificación de los semáforos

De acuerdo a la función operacional los semáforos pueden clasificarse en:

- **Semáforos para circulación vehicular**  
Tiempo predeterminado  
Accionados por el tránsito
- **Semáforos para peatones**

## 2.7. Características de los semáforos vehiculares

Las características físicas de los semáforos son idénticas tanto para los de tiempo predeterminado como para los accionados por el tránsito, la única diferencia consiste en el mecanismo que dirige la operación:

Están constituidos por los siguientes elementos:

- **Cabeza:** Se denomina cabeza de un semáforo al elemento que contiene señales luminosas o focos y que tiene un número determinado de caras en diversas direcciones.  
La cabeza normalmente es un armazón metálico hueco que contiene a los reflectores de cada uno de las caras y a los cables que están conectados, en algunos

casos llevan además unas vísceras sobre cada una de las señales luminosas para evitar el reflejo del sol y mantener una buena visibilidad de la señal.

- Caras: Cada cara de un semáforo contiene tres o más elementos ópticos o lentes que están formados verticalmente.

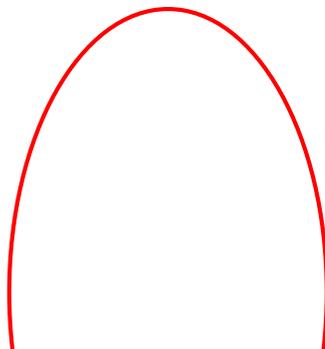
La **cara** de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara y portalámparas). Se recomiendan dos caras por accesos a la intersección, las cuales pueden ser complementadas con semáforos para peatones.

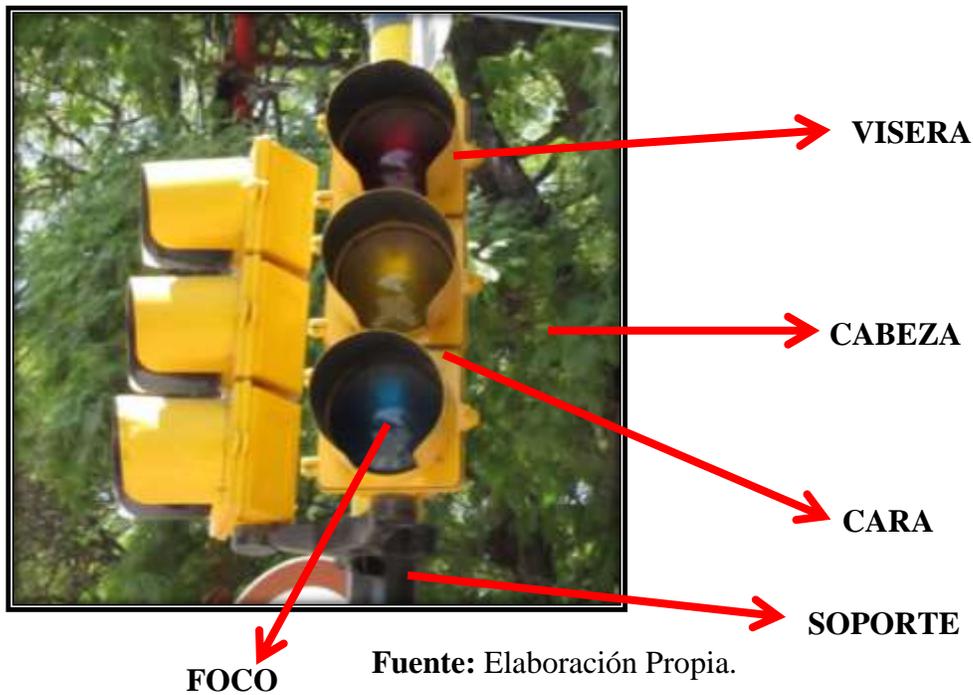
- Focos: Son lentes ópticos formados cada uno por una lente para un reflector cóncavo, para concentrar el haz luminoso en una sola dirección un vidrio difusor circular de calor y vísceras arriba y a los costados eventualmente.

Los focos de cada cara ubicadas en un eje vertical van en la siguiente posición: el rojo en la parte alta, inmediatamente debajo se ubica el amarillo o ámbar, por último el verde y si hay señales adicionales como giros a la izquierda y giros a la derecha estas pueden ir debajo de la señal verde o a un costado.

- Visera: Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado. Como el caso de las lentes, esta parte está desapareciendo ya que los nuevos semáforos de LEDs iluminan de mejor forma que los antiguos.
- Soporte: Los soportes son las estructuras que se utilizan para sujetar la cabeza de los semáforos de forma que les permitan algunos ajustes angulares, verticales y horizontales.

**Figura 2.11** Características de los semáforos vehiculares e indicaciones de los colores





## 2.8. Función de los colores

### Verde total



El tránsito que observe esta luz puede seguir de frente, girar a la izquierda o derecha, a menos que alguna señal prohíba el giro, sin embargo los conductores deben respetar el derecho de paso a otros vehículos, a peatones que estén cruzando legalmente la intersección. Los peatones que observen esta luz también pueden proceder a cruzar la vía dentro los pasos marcados o no, al menos que existan semáforos peatonales que indiquen otra señal.

### Amarillo fijo



La luz amarilla advierte que inmediatamente después aparecerá el rojo y el conductor si aún puede debe detener el vehículo para esperar la próxima fase verde, es un foco o lente de precaución que de alguna manera debe ser un tiempo de reacción del conductor.

### **Rojo fijo**



Indica que el tránsito vehicular deben detenerse antes de la raya de la línea de pare que indica el paso peatonal, y si no existe, dos metros antes de la intersección. Los peatones pueden cruzar cuando los vehículos están detenidos en rojo.

### **Verde con flecha de frente**



El tránsito que tenga esta señal debe seguir su marcha de frente sin hacer giros a ningún lado, los peatones que se encuentran de frente a esta señal pueden cruzar la vía dentro de su paso marcado a menos de que haya un semáforo peatonal que indique otra acción.

### **Verde con flecha de giro**



El tránsito que tenga esta señal deberá entrar a la intersección con cuidado para hacer el giro indicado por la flecha verde.

### **Rojo intermitente (señal de pare)**

Cuando el semáforo esta rojo intermitente los conductores de vehículos deben detenerse antes del paso peatonal y el derecho a seguir estará sujeto a las normas vigentes para una señal de pare.

### **Amarillo intermitente (señal de precaución)**

Cuando un semáforo está en amarillo intermitente los conductores de vehículos pueden pasar la intersección con suma precaución.

## **2.9. Ubicación de los semáforos**

Los semáforos de acuerdo al tipo de intersección deben ser ubicados en cada uno de los accesos de la intersección, totalmente visible a los conductores. De acuerdo a las características físicas de la intersección y el número de carriles que puede presentarse en cada acceso pueden existir varias formas de ubicación de semáforos.

### **a) Semáforos independientes**

Estos semáforos van ubicados en la entrada de cada acceso a 60 cm. como mínimo del cordón de la acera cuya altura puede variar de 2.40 - 4.50 m. dependiendo de la visibilidad existente. Si bien desde el punto de vista operacional estos pueden resultar los más eficientes resultan los más antieconómicos debido a que cada poste soporta una cabeza de semáforo de una sola cara.

**b) Semáforos con ménsula corta**

Cuando la visibilidad en la intersección no permite una buena ubicación del semáforo, se recurre a estructuras metálicas tipo de ménsula, que soportan la cabeza del semáforo un poco más el interior de la calzada y por lo tanto más visible.

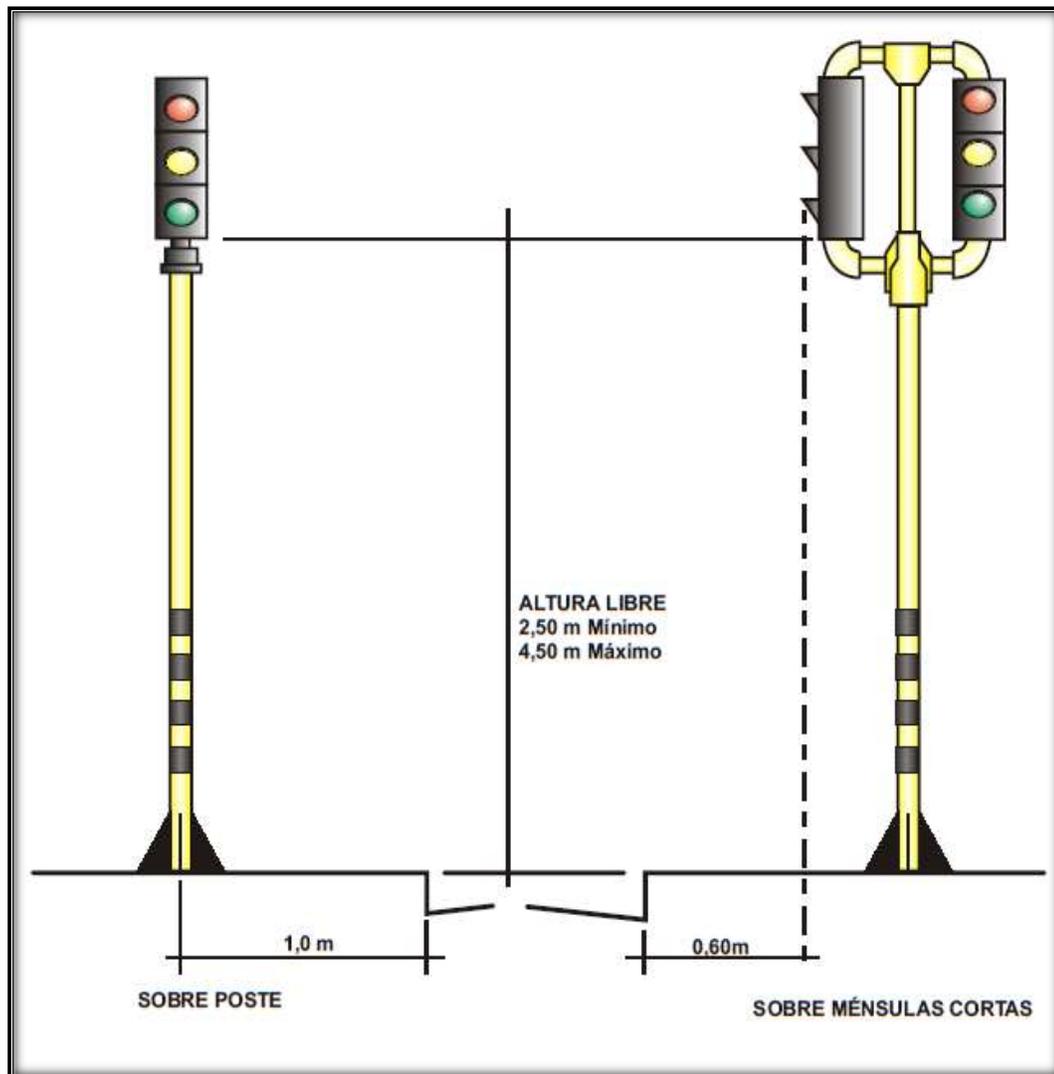
**c) Semáforos con ménsula larga**

Cuando los semáforos van a tener más de una cara y se quiere que estas sean igualmente visibles a cada acceso de la intersección, se utiliza estructuras metálicas tipo ménsula, pero que abarquen hasta de  $1/3$  a  $2/3$  de la intersección, de tal forma que sea visible a todos los accesos, si bien la estructura se hace más caro en costo esto se equilibra por el número de caras que pueda tener la cabeza del semáforo.

**d) Semáforos colgantes**

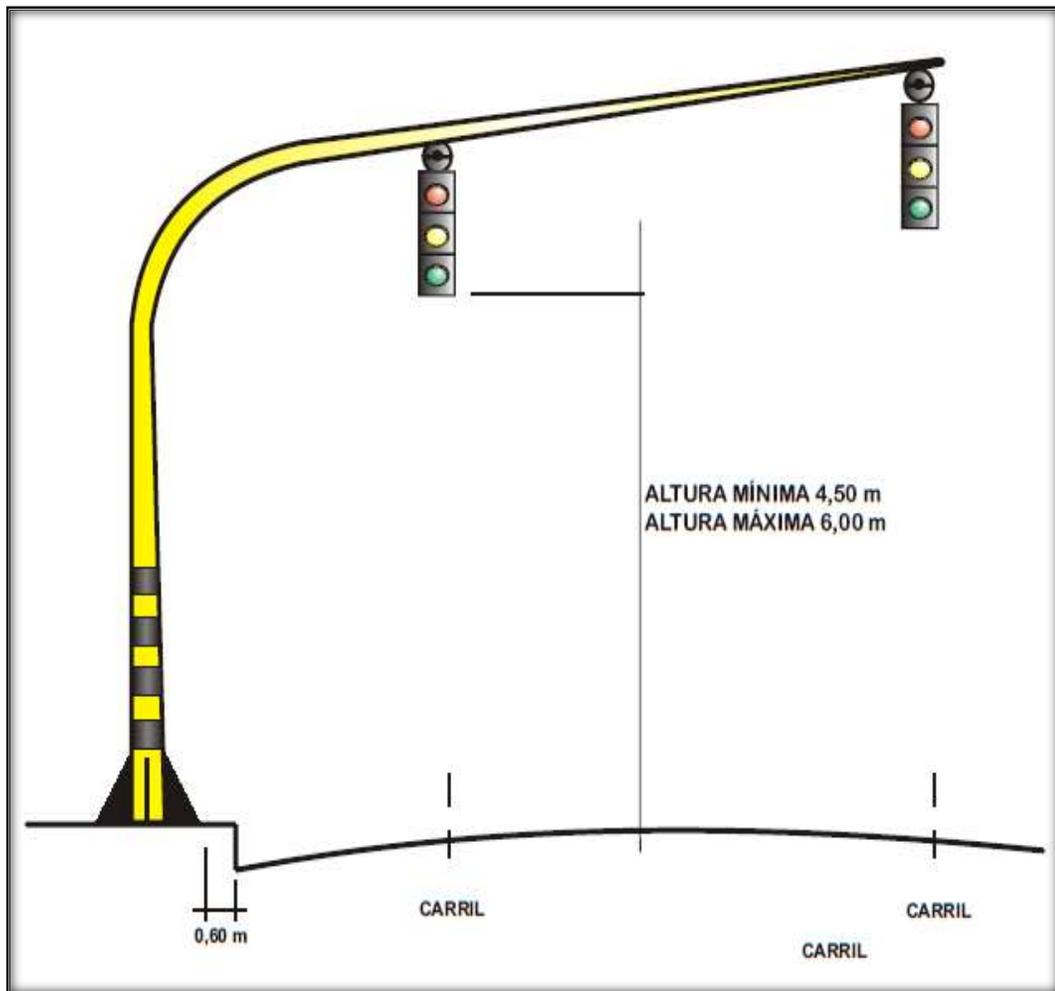
Este tipo de semáforos se recomienda en intersección en las cuales se va a tener 4 accesos que puedan dar origen a 4 caras de la cabeza del semáforo, que tienen que ser igualmente visible, para ello se busca un punto que geométricamente sea concéntrico en la intersección y se coloca el semáforo soportado por cables que están anclados en las paredes de la intersección.

**Figura 2.12** Semáforos con ménsula corta



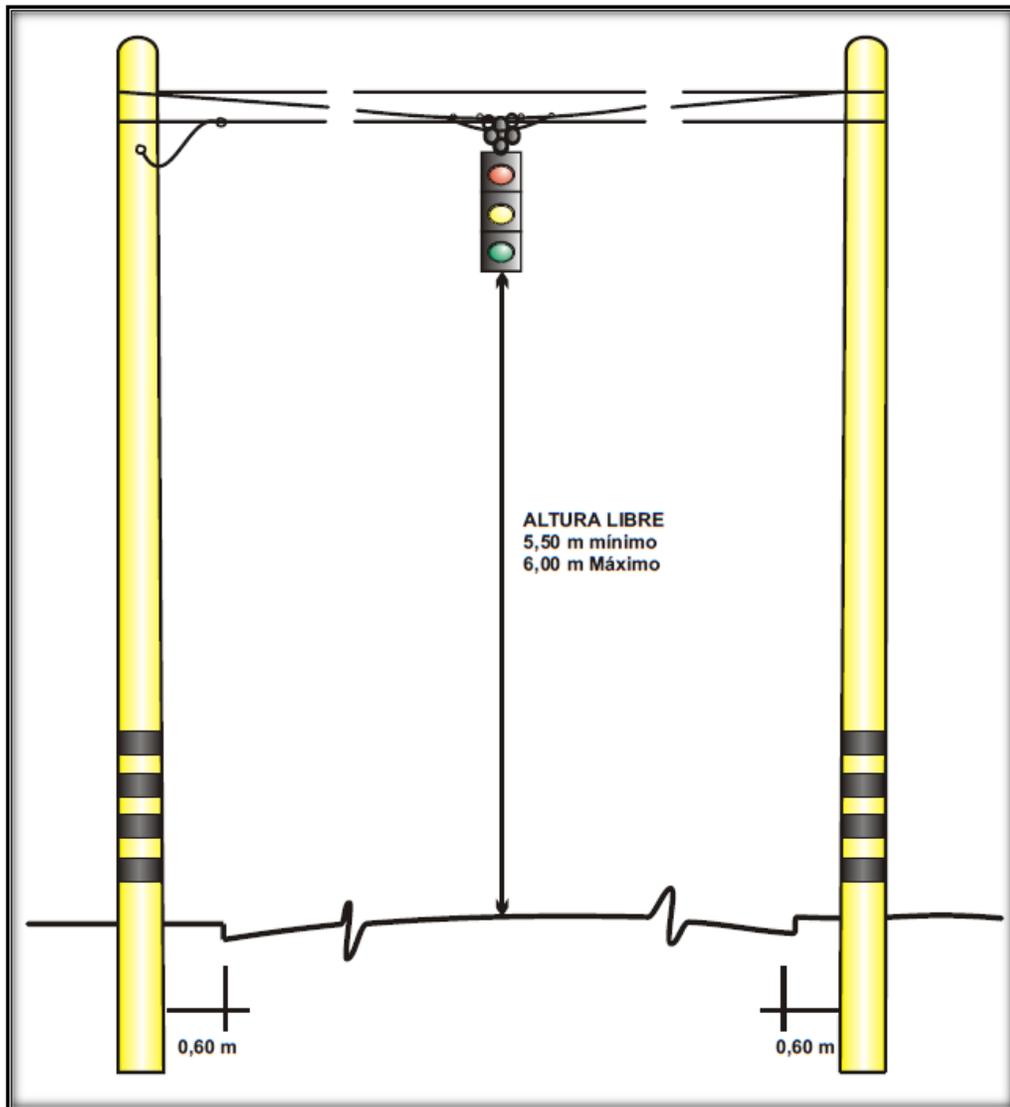
**Fuente:** Tipos de Semáforos (Internet)

**Figura 2.13** Semáforos con ménsula larga



**Fuente:** Tipos de Semáforos (Internet)

**Figura 2.14** Semáforos colgantes



**Fuente:** Tipos de Semáforos (Internet)

## 2.10. Tipos de semáforos para circulación vehicular

De acuerdo a su forma de comando se presentan dos tipos de semáforos para circulación vehicular

### 2.10.1. Semáforos de tiempo Predeterminado

Es aquel que regula el tránsito en base a una distribución de secuencias previamente establecidas. La duración total del ciclo puede ser establecido desde un mínimo de 30 segundos hasta máximo 120 segundos. En la mayoría de los equipos usuales los cambios de la duración de ciclo pueden hacerse en valores, múltiplos de 5 segundos.

En general este tipo de semáforos admiten una programación para prever diversas distribuciones del ciclo a duplicarse en distintas horas del día. Sus principales ventajas de este tipo de semáforos son:

- Facilitan la programación de un sistema coordinado de semáforos.
- El funcionamiento de semáforos no se ve afectado por anomalías en la detención, como puede ser un vehículo ubicado sobre él.
- Proporcionan una mayor eficiencia en áreas con gran movimiento peatonal.
- Su instalación y mantenimiento es más económico que los activados por el tránsito.
- Se adaptan en aquellas intersecciones en que el tránsito es relativamente estable.

#### **2.10.1.1. Condiciones para la instalación de semáforos**

Los semáforos de tiempo predeterminados deben ser instalados si cubren una o más de las siguientes condiciones:

##### **a) Volúmenes mínimos**

Es deseable la instalación de semáforos cuando se exceden, durante un período de ocho horas de un día promedio, los valores consignados en la siguiente tabla.

Condición N°1 volúmenes mínimos

**Tabla 2.1** Volúmenes mínimos

Número de carriles de circulación por acceso		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)		Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de calle secundaria (un solo sentido)	
Calle principal	Calle secundaria	Urbano	Rural	Urbano	Rural
1	1	500	350	150	105
2 ó más	1	600	420	150	105
2 ó más	2 ó más	600	420	200	140
1	2 ó más	500	350	200	140

**Fuente:** Libro de Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. (7ª Edición)

Cuando el 85% de los vehículos que circulan por la calle principal excede los 60 km/h o cuando la población la intersección se encuentra en poblaciones menores de 10.000 habitantes, la condición de vehículos mínimos responde al 70% de los valores consignados en la anterior tabla.

#### **b) Demoras de tránsito**

Si el tránsito de la arteria secundaria no alcanza los valores de la anterior tabla, pero los valores de la arteria principal son elevados, es dable esperar que el tránsito de la vía secundaria sufra retardos excesivos o cruce con condiciones de seguridad no apropiadas. Esta condición recomienda la instalación de semáforos si exceden los valores de la siguiente tabla, durante ocho horas consecutivas de un día promedio.

Condición N° 2 demoras en el tránsito

**Tabla 2.2** Demoras de Tránsito

Número de carriles de circulación por acceso		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)		Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de calle secundaria (un solo sentido)	
Calle principal	Calle secundaria	Urbano	Rural	Urbano	Rural
1	1	750	525	75	53
2 ó más	1	900	630	75	53
2 ó más	2 ó más	900	630	100	70
1	2 ó más	750	525	100	70

**Fuente:** Libro de Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. (7ª Edición)

### c) Volumen mínimo de peatones

Se recomienda la instalación de semáforos que exceden los valores de la tabla siguiente durante ocho horas consecutivas de un día promedio.

**Tabla 2.3** Volumen mínimo de peatones

Tipo de Intersecciones	Total Veh/Hora Ambos Sentidos		Total Peat/Hora	Período mantenimiento de demanda (Hora)
	Calzada No Dividida	Calzada Dividida Cantero Central > 1,2 m.		
Fuera de áreas escolares	600	1000	150	8
Corresponde a áreas escolares	800		250	2

**Fuente:** Libro de Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. (7ª Edición)

Se deben instalar semáforos cuando se exceden los valores correspondientes a la anterior tabla.

Cuando el 85% de los vehículos que circulan por la calle principal excede los 60 km/h o cuando la población la intersección se encuentra en poblaciones menores de 10.000 habitantes, la condición de vehículos mínimos responde al 70% de los valores consignados en la anterior tabla.

#### **d) Movimiento o circulación progresiva**

El control del movimiento progresivo a veces demanda la instalación de semáforos en intersecciones en donde en otras condiciones no serían necesarios, con el objeto de regular eficientemente las velocidades de grupos compactos de vehículos.

Se satisface el requisito correspondiente a movimiento progresivo en los dos siguientes casos:

- En calles con circulación en un solo sentido o en calles en las que prevalece la circulación en un solo sentido y en las que los semáforos adyacentes están demasiado distantes para conservar el agrupamiento compacto y las velocidades deseadas de los vehículos.
- En las calles de doble sentido de circulación, cuando los semáforos adyacentes no proveen el adecuado agrupamiento de vehículos ni el control de la velocidad y el semáforo propuesto junto con los adyacentes pueden conformar un sistema progresivo de semáforos.

Un semáforo instalado atendiendo este requisito debe basarse en la velocidad que comprende el 85% del tránsito, a menos que un estudio del caso específico indique otra situación. En ningún caso debe considerarse la instalación de un semáforo de acuerdo a este requisito, si la separación entre semáforos resultase ser inferior a 300 metros.

**e) Antecedentes acerca de los accidentes**

Se considera conveniente instalar semáforos, si estima que la operación vehicular así controlada aumentará en seguridad disminuyendo eficientemente los accidentes.

Para cumplir las condiciones de prevención de accidentes es necesario que se verifique la totalidad de los siguientes requisitos:

- Que se presenten en el término de un año no menor de cinco accidentes de regular importancia que puedan ser evitadas en semaforización.
- Que no exista ninguna otra medida preventiva adecuada.
- Que los valores de demanda de las tres primeras condiciones sean superiores en un 80% a los expresados en las tablas correspondientes.

**f) Combinación de los requisitos anteriores**

Cuando ninguno de los requisitos anteriores se cumplen en un 100%, pero dos o más se satisfacen en un 80% del valor indicado para cada uno de ellos, se puede considerar justificada la instalación de semáforos. Las decisiones en estos casos excepcionales deben apoyarse en un análisis completo de todos los factores que intervienen, debiendo estudiarse la conveniencia de emplear otros métodos que ocasionen menos demoras al tránsito.

**2.10.2. Semáforos accionados por el tránsito**

La característica principal del funcionamiento de los semáforos accionados por el tránsito es que la duración de los ciclos responde, a la variación de la demanda del tránsito vehicular.

Dicha demanda puede ser registrada de forma manual o automática por aparatos detectores conectados al control del semáforo, este tipo de control se ajusta continuamente en la duración del ciclo y en la decisión interna del mismo para satisfacer la demanda.

Entre las ventajas que presenta este tipo de semáforos puede destacarse:

- Permiten una máxima eficiencia cuando las fluctuaciones del tránsito no pueden ser cubiertas mediante las posibilidades del control determinado.
- Tienen un mejor comportamiento en aquellas intersecciones en donde uno o más movimientos son sumamente inestables.
- Proveen una máxima eficiencia en intersecciones de calles principales con arterias secundarias.
- Son adecuados en aquellos puntos donde el control semafórico se justifica solo durante breves períodos del día.

Este tipo de semáforos pueden ser clasificados en tres tipos:

#### **2.10.2.1. Semáforos semiaccionados**

Son aquellos accionados por el tránsito de solo una de las arterias de la intersección generalmente la de menor tránsito. Los detectores se ubican en la vía secundaria y activan la luz verde solo cuando, además de detectarse vehículos, se ha agotado el tiempo verde mínimo asignado a la arteria principal. Un caso especial de semáforo semiaccionado es el de paso de peatones con pulsador.

#### **2.10.2.2. Semáforos accionados**

Son aquellos que responden a todas las demandas de la intersección, variando los tiempos de acuerdo a una determinada programación.

#### **2.10.2.3. Semáforos con comando central**

Es un sistema de semáforos pertenecientes a una determinada área, son comandados desde una central maestra que recibe información de la demanda de acuerdo a una serie

de detectores de muestreo, ubicados en puntos característicos del área. Para instalar semáforos accionados por el tránsito se deben analizar los siguientes factores:

**a) Volumen de vehículos**

Cuando el volumen de tránsito no es suficiente para justificar el empleo de semáforos de tiempo fijo, se debe emplear semáforos accionados por el tránsito, si hay condiciones que justifiquen la inversión ya que son muy costosas.

**b) Movimiento transversal**

Cuando el volumen de tránsito en la calle principal es intenso y entorpece la circulación de la calle transversal, se puede instalar semáforos accionados por el tránsito.

**c) Horas de máxima demanda**

Si se requiere controlar una intersección durante un tiempo breve en el día, como ser las horas de máxima demanda.

**d) Peatones**

Cuando se tengan los volúmenes mínimos de peatones, especificados para semáforos de tiempos fijos.

**e) Accidentes**

Cuando solo se satisface el requisito mínimo relativo a los antecedentes sobre accidentes, especificado para semáforos de tiempo fijo.

**f) Amplias fluctuaciones de tránsito**

En los casos que según los requisitos para semáforos de tiempo fijo, es necesario instalar semáforos cuando los volúmenes de tránsito varíen considerablemente.

**g) Intersecciones complejas**

Cuando se justifique instalar semáforos en intersecciones complicadas que requieran varias fases, se debe estudiar la conveniencia de usar semáforos accionados por el tránsito. En estos casos, además de las ventajas usuales se puede eliminar una fase cuando no haya tránsito que la demande.

**h) Sistemas progresivos**

Cuando los espaciamientos y otras características de una intersección dentro de un sistema de semáforos pre-sincronizados sean tales que no se pueda lograr la sincronización progresiva, puede resultar más ventajoso el empleo de semáforos accionados por el tránsito.

**i) Cruce de peatones fuera de la intersección**

En los cruces concentrados de peatones cerca de escuelas o de espectáculos se puede justificar el uso de semáforos accionados por los peatones, complementándolo con señales apropiadas.

## **2.11. Distribución de los tiempos del semáforo**

### **2.11.1. Términos básicos**

En una intersección, el flujo total de los vehículos que llega a cada uno de los accesos debe ser dividido en diferentes **fases** de movimiento, en cada una de las cuales se efectúa un desplazamiento de vehículos. Ciertos movimientos reciben el derecho al uso

del espacio por medio de una señal **verde** o de **sig**, mientras que otros son detenidos con una señal de **rojo** o de **alto**.

Es necesario precisar algunos términos básicos o parámetros de tiempo y evitar posibles confusiones:

- **Indicación de señal:** Es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.
- **Ciclo o longitud de ciclo:** Tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa. Por razones de orden práctico, es que los valores de diseño de duración de ciclo es que estén comprendidos en ciclos no menores a 35 segundos ni mayores a 120 segundos, para que se pueda adecuar a la mentalidad del usuario de la vía pública.
- **Movimiento:** Maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.
- **Intervalo:** Cualquiera de diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.
- **Fase:** Parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos.
- **Secuencia de fases:** Orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.
- **Reparto:** Porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.
- **Intervalo de despeje:** Tiempo de exposición de la indicación ámbar del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.
- **Intervalo todo rojo:** Tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular.
- **Intervalo de cambio de fase:** Intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio ámbar o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

## **2.12. Asignación de tiempos**

### **2.12.1. Generalidades**

La determinación de las fases, es decir de los movimientos que pueden darse simultáneamente, no puede sujetarse a reglas fijas sino que dependerán en general de las características del tráfico y del trazo de la intersección.

Como las fases del funcionamiento condicionan la situación de los semáforos, el ciclo y la duración de cada indicación se deberán realizar un análisis en base a los requerimientos de la demanda.

Cuando se emplea ciclos de fases demasiado largas se tiende a perder eficiencia en la circulación del tránsito y disminuye sus condiciones de seguridad.

Los criterios que deben presidir en el estudio de las fases son los siguientes:

- Volumen de demanda vehicular.
- Composición del tránsito vehicular.
- Volumen de demanda peatonal.
- Movimiento de giro.

### **2.12.2. Tiempo de fase amarilla**

La finalidad de la luz amarilla tiene como objetivo avisar al conductor que va a aparecer la fase roja a la fase verde y permitirle un tiempo suficiente para detener el vehículo o culminar una maniobra del cruce de la intersección. Para asignar un tiempo a esta fase por lo tanto debemos tomar en cuenta la distancia de visibilidad de frenado.

La velocidad de circulación media y el ancho de la intersección, teniéndose como relación que involucra las ecuaciones siguientes.

$$Ta = \frac{D}{V} + \frac{a}{V} \quad (1)$$

Dónde:

Ta = Tiempo de fase amarilla (seg.)

V = Velocidad circulación media (m/seg.)

a = Ancho de la intersección

Distancia de visibilidad de frenado podemos adoptar la ecuación AASTHO 1965.

$$D = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)} \quad (2)$$

Siendo:

D = Distancia de visibilidad de frenado (m.)

t = Tiempo de reacción y percepción que para tramos urbanos varía entre 2 – 2.5 seg.

V = Velocidad circulación media (m/seg.)

f = Coef. De fricción de neumático calzada normalmente se toma un valor medio de 0.40

i = Pendiente longitudinal de la intersección en el sentido del acceso

En el siguiente cuadro tenemos los tiempos de fase amarilla para las distintas velocidades de circulación.

**Tabla 2.4** Tiempo de fase amarilla

<b>VALORES DE TIEMPO DE FASE AMARILLA</b>
---

VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	TIEMPO DE FASE AMARILLA	
	ANCHO DE LA INTERSECCIÓN	
	15 m.	20 m.
30	3,4	4
40	3,3	3,8
50	3,5	3,9
60	3,8	4,1

**Fuente:** Libro de Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. (7° Edición).

La tendencia en general es llegar a una duración de amarillo uniforme, con lo cual los conductores reaccionan siempre de la misma forma y así que podemos observar que el valor de la fase amarilla varía entre 3 y 4 segundos, de acuerdo a las condiciones de la intersección.

Solamente en vías de gran velocidad se puede recurrir a tiempos de amarillo un poco más largos, aunque en estas vías no abundan los semáforos a no ser en puntos donde cambia en carácter de la calle o carretera, que puedan ser muy peligrosos y también es conveniente pre señalizar adecuadamente.

### 2.12.3. Distribución de tiempos

La asignación de tiempos se realiza de acuerdo con la demanda de tránsito de las calles que se interceptan.

En general la coordinación entre semáforos consecutivos hace que se adopte una única distribución de los sistemas válida para todo el sistema, esta debe cubrir los valores medios de las necesidades de todas las intersecciones.

La asignación de tiempos puede hacerse de acuerdo al siguiente detalle:

$$\frac{Va (Aa\% + E * ka\%)}{t' \cdot 100} = \frac{Vb}{t'a} + \frac{(Aa\% + E * ka\%)}{100} \quad (3)$$

$$t'a + t'b + t''a + t''b = C \quad (4)$$

Dónde:

$Va$  ,  $Vb$  = Volúmenes de demanda de cada calle (veh/h.)

$t'a$  ,  $t'b$  = Duración fase verde en segundos

$Aa$  ,  $Ab$  = Porcentaje de vehículos en %

$Ka$  ,  $Kb$  = Porcentaje de vehículos comerciales en %

$E$  = Automóviles equivalentes por vehículo comercial

$C$  = Duración total de ciclo en segundos

$t''a$  ,  $t''b$  = Duración de la fase amarilla en segundos

$$t'a + t''a + t'''a = C \quad (5)$$

$$t'b + t''b + t'''b = C \quad (6)$$

Dónde:

$t'''a$  y  $t'''b$  = Duración de la fase roja en segundos

Por lo general si los tránsitos tienen composiciones similares puede obviarse la consideración de la incidencia de los vehículos comerciales directamente con los volúmenes totales.

$$\frac{Va}{t'a} = \frac{Vb}{t'b} \quad (7)$$

Los cálculos anteriores solo proporcionan un medio aproximado para determinar las asignaciones. Es así que debe verificarse además de los tiempos verdes asignados sean

suficientes para que se verifique el cruce peatonal correspondiente. Esto hace que en general no se adopten tiempos verdes inferiores a 16 segundos.

#### **2.12.4. Fase verde**

Se entiende por sincronismo u “onda verde” a aquel sistema de luces verdes semafóricas, instaladas en una calle o avenida, que permitan la circulación de los automóviles (sin detenciones) a una velocidad promedio determinada, a lo largo de toda su extensión. Se consigue circular en una onda verde si el automovilista circula a velocidad promedio y circula siempre por la misma calle o avenida, cualquier desvío o giro implicara salirse de esa onda verde particular y se deberá esperar para retomar otra.

### **2.13. Sistema coordinado de semáforos**

#### **2.13.1. Generalidades**

Se entiende por coordinación de semáforos a la forma metodológica que hace funcionar un conjunto de semáforos aislados para lograr una mejor fluidez en la circulación, cuando mejor estén asignados los tiempos de las diferentes fases y mejor este la coordinación se tendrán mayores posibilidades de conseguir que la circulación sea fluida y con menores tiempos de demora. Los períodos de fase roja indican con una línea oscura y los verdes con líneas de trazo claro. La trayectoria de un vehículo que circula se representa con una línea recta cuyas pendientes variará con la velocidad.

A efecto de simplificar la representación solo se grafica el primer automóvil y el último quedando una banda definida la que se denomina banda verde. Un estudio de optimización de un sistema coordinado consiste en diseñar una banda verde, denominada también banda pasante, lo más ancha posible. Se denomina eficiencia de

una banda verde a la relación entre un ancho, medido en segundos y la duración del ciclo también medido en segundos.

## **2.14. Coordinación de semáforos**

### **2.14.1. Coordinación en calles de un sentido**

En este sistema se supone que la velocidad de los vehículos es uniforme y que el tránsito circula desde la primera intersección a la última y la duración del ciclo es la misma para todas las intersecciones. El diseño debe lograr una coordinación tal que permita circular sin detenerse al mayor número posible de vehículos.

La intersección crítica será aquella que tenga la menor fase verde. Se representa sobre las abscisas todas las intersecciones y sobre la que resulte crítica se grafican las secuencias correspondientes.

### **2.14.2. Coordinación en calles de doble sentido**

Debe coordinarse el sistema de manera de lograr una circulación uniforme y simultánea de circulación. El único valor constante para el total del sistema es la relación del ciclo.

La coordinación de calles de doble sentido puede ser resuelta por cualquiera de los siguientes procedimientos:

#### **a) Coordinación sistema simultáneo**

En este tipo de coordinación es aquel que aproximadamente nos da la misma indicación, al mismo tiempo en todos los semáforos, es decir que todos los semáforos

de una red indican al mismo tiempo fase verde, amarilla y roja, la ventaja o desventaja de este de coordinación está en función de los volúmenes de demanda que se tiene en cada una de las intersecciones, generalmente este tipo de combinación se utiliza en dos o tres intersecciones en vías principales con una amplia fase verde. El inconveniente de este método es que de a los conductores la posibilidad de circular a velocidades elevadas.

#### **b) Coordinación alterna**

Este tipo de coordinación se refiere a tener semáforos ubicados sobre la misma línea con indicaciones de tipo alterno, es decir de las indicaciones de fase verde puede ser alternada de cada 1, 2 y 3 intersecciones y lo mismo ocurriría con las fases rojas, de tal manera que permita que un conjunto de vehículos pueda circular con fluidez un determinado espacio.

#### **c) Sistema progresivo**

Este sistema permite la coordinación donde las distancias entre intersecciones no sean iguales, las fases verdes sean diferentes y las velocidades pueden ser variadas. La única constante para el sistema es la duración del ciclo. El problema se resuelve planteando una serie de ecuaciones donde cada intersección permite un rango en la definición de la fase verde entre dos valores límites y la velocidad, también puede variar dentro de un rango preestablecido. Mediante programas de cálculo se pueden determinar los valores de las fases verdes de cada intersección para ciertos valores de velocidad y de duración de ciclo que permitan mayor eficiencia operativa en el sistema.

### **2.15. Semáforos para pasos peatonales**

Los semáforos para peatones son señales de tránsito instaladas para el propósito exclusivo de dirigir el tránsito de peatones en intersecciones semaforizadas. Los semáforos para pasos peatonales se dividen de la siguiente manera:

### **2.15.1. Semáforos en zonas de alto volumen**

Comúnmente llamados semáforos para peatones, son los que regulan el tránsito de peatones en intersecciones donde se registra un alto volumen peatonal y se deben instalar en coordinación con semáforos para vehículos.

#### **2.15.1.1. Significado de las indicaciones (colores)**

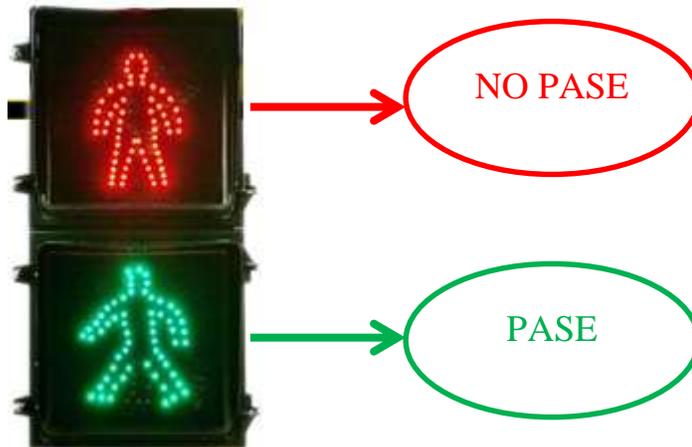
Las lentes de los semáforos para peatones deben ser de color rojo y verde.

#### **2.15.1.2. Aplicación de los colores**

La interpretación de las indicaciones de los semáforos para peatones será la siguiente:

- a) La indicación PARE iluminada en color rojo quiere decir que el peatón no deberá atravesar la calle en dirección a la señal, mientras ésta se encuentra encendida.
- b) La indicación de PASE iluminada en color verde fijo significa que los peatones que se encuentran frente al semáforo pueden cruzar la calle en dirección del mismo.
- c) La indicación de PASE en color verde intermitente significa que un peatón no deberá empezar a cruzar la calle en dirección de la señal, porque la luz de ésta va a cambiar a la indicación de PARE; cualquier peatón que haya iniciado su cruce durante la indicación fija deberá acelerarla marcha y seguir hasta la acera o la isla de seguridad. Puede utilizarse con el mismo fin la indicación de PARE intermitente.

**Figura 2.15** Semáforos para zonas de alto volumen



**Fuente:** Semáforos para zonas de alto volumen (Internet).

### 2.15.2. Semáforos en zonas escolares

Los semáforos en zonas escolares son dispositivos especiales para el control del tránsito de vehículos que se colocan en los cruces establecidos en las escuelas con el propósito de prevenir al conductor de la presencia de un cruce peatonal.

**Figura 2.16** Semáforos en zonas escolares



**Fuente:** Semáforos para zonas escolares (Internet).

### **2.15.2.1. Ubicación**

Los semáforos para peatones se instalarán generalmente en la acera opuesta, con su parte inferior a no menos de dos metros, ni más de 3 metros sobre el nivel de la acera, de tal manera que la indicación quede en la visual del peatón que tiene que ser guiado por dicha señal.

Cada semáforo para peatones puede montarse separadamente o en el mismo soporte de los semáforos para el control del tránsito de los vehículos, debiendo existir una separación física entre ellos.

## **SEMÁFOROS CON ÓPTICA LED**

### **2.16. Introducción**

La tecnología LED se está poniendo hoy en día a flote, por lo que en la actualidad se pretende sustituir las lámparas tradicionales (incandescentes u fluorescentes) por la razón de su mayor consumo de potencia, haciendo que los LEDs (diodo emisor de luz) pasen a un primer plano ya que su consumo de potencia es aproximado a un 40% menos que las lámparas tradicionales. La tecnología LED se está empleando en semáforos, haciéndoles a estos que consuman menos potencia y sean más visibles y duraderos que los semáforos normales. Los LEDs actualmente disponibles ya están reemplazando rápidamente a otras fuentes de iluminación como así también son hoy la tecnología preferida para luces decorativas y de diferentes aplicaciones. La potencia de los LEDs, como fuente de iluminación general (luz blanca), es actualmente una de sus principales promesas de cara al futuro. En este documento se presenta la tecnología de la iluminación con LED, centrándose en sus aplicaciones, ciclo de vida y su capacidad para mejorar la eficiencia.

Todos han notado que en nuestras ciudades van sustituyendo progresivamente los viejos semáforos, compuestos de una bombilla tras un cristal coloreado (verde, ámbar o rojo), por un nuevo modelo que incluye multitud de diminutas lámparas de colores que, en conjunto, y a modo de píxeles, generan un efecto similar al que antes se tenía.

### **2.17. Definición de semáforos LED**

LED se define por sus siglas como diodo emisor de luz, no es más que un pequeño chip de material semiconductor, que cuando es atravesado por una corriente eléctrica, en sentido apropiado, emite luz monocromática sin producir calor, es decir un componente electrónico semiconductor, con polaridad por lo que se usará en funciones de señalización, estética y, actualmente iluminación.

Los LEDs (Light Emitting Diodes o diodos luminiscentes), que consiste en un dispositivo electrónico que emite luz de un solo color cuando pasa electricidad a través de él, están presentes en muchos aspectos en nuestra vida cotidiana desde hace mucho tiempo y pasan totalmente desapercibidos para muchos de nosotros.

Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y actualmente y debido a su rentabilidad, se están utilizando lámparas LEDs para la señalización luminosa, estas son construidas con LEDs de alto brillo para aplicaciones en señalización de tránsito.

Los LEDs utilizados se encuentran conectados de tal forma que al fallo de uno de ellos no afecta el funcionamiento de lo demás. Cada LED cuenta con un colimador (lente), encargado de aumentar el ángulo de visión.

### **2.18. Composición de los LED**

La óptica de LED está compuesta por una placa de circuito impreso, policarbonato de protección, casquillo roscante E-27, todos estos elementos están integrados sobre un soporte cónico. El circuito impreso, policarbonato de protección y envoltura cónica, poseen orificios de ventilación para facilitar la evacuación de calor de su interior.

Se han obtenido los siguientes colores (longitudes de onda) mezclando los compuestos básicos en la fabricación de LED.

**Tabla 2.5** Compuestos empleados en la construcción de LED

<b>Compuestos empleados en la construcción de LED</b>		
<b>Compuesto</b>	<b>Color</b>	<b>Longitud de onda</b>
<b>Arseniuro de Galio (GaAs)</b>	Infrarrojo	940 nm
<b>Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)</b>	Rojo e infrarrojo	890 nm
<b>Arseniuro Fosfuro de Galio</b>	Rojo, naranja y amarillo	630 nm
<b>Fosfuro de galio (GaP)</b>	Verde	555 nm
<b>Nitruro de Galio (GaN)</b>	Verde	525 nm
<b>Nitruro de Galio e indio (InGaN)</b>	Azul	450 nm
<b>Carburo de Silicio (SiC)</b>	Azul	480 nm

**Fuente:** <http://www.prosolda.com/leds/leds-semaforos.htm>

Con la obtención de todo el espectro es posible también obtener el blanco, el púrpura, el violeta, el ultravioleta, etc. Por una combinación de estos.

## **2.19. Tipos de semáforos LEDs**

### **2.19.1. Semáforos para circulación vehicular**

El Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija, está trabajando con semáforos LED que vienen desde el país vecino Argentina, provincia Buenos Aires de la Empresa Tecnotrans S.R.L. ( [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar) / [info@tecnotrans.com.ar](mailto:info@tecnotrans.com.ar)).

#### **2.19.1.1. Especificaciones**

##### **a) Vida Útil**

- Superior a 60.000 horas.

##### **b) LEDs**

- Construida con LEDs de alto brillo para aplicaciones en señalización de tránsito. Los LEDs utilizados se encuentran circuitalmente conectados de tal forma que el fallo de uno de ellos no afecta al funcionamiento de los demás.
- Cada LED cuenta individualmente con un colimador (lente), encargado de aumentar el ángulo de visión.
- Ángulo de visión derecha-izquierda: 60 grados ángulo de visión arriba-abajo: 30 grados.

##### **c) Construcción**

- Frente de acrílico con protección UV.
- Sistema completamente sellado contra el ingreso de agua y el polvo asegurando un grado de protección IP 54.
- La fuente de alimentación conmutada (Switching) se compone de un filtro de línea que evita que las perturbaciones electromagnéticas presentes en la línea de alimentación influyan sobre el funcionamiento de la luminaria. Por otro lado, un circuito de protección compuesto por un varistor de óxido metálico protege a la luminaria de los transitorios de tensión (Sobretensiones).

- La construcción de las ópticas se ha realizado respetando las normas IRAM 2442.
- Su diseño asegura un reemplazo directo de los lentes de acrílicos utilizados en los semáforos a lámparas incandescentes.

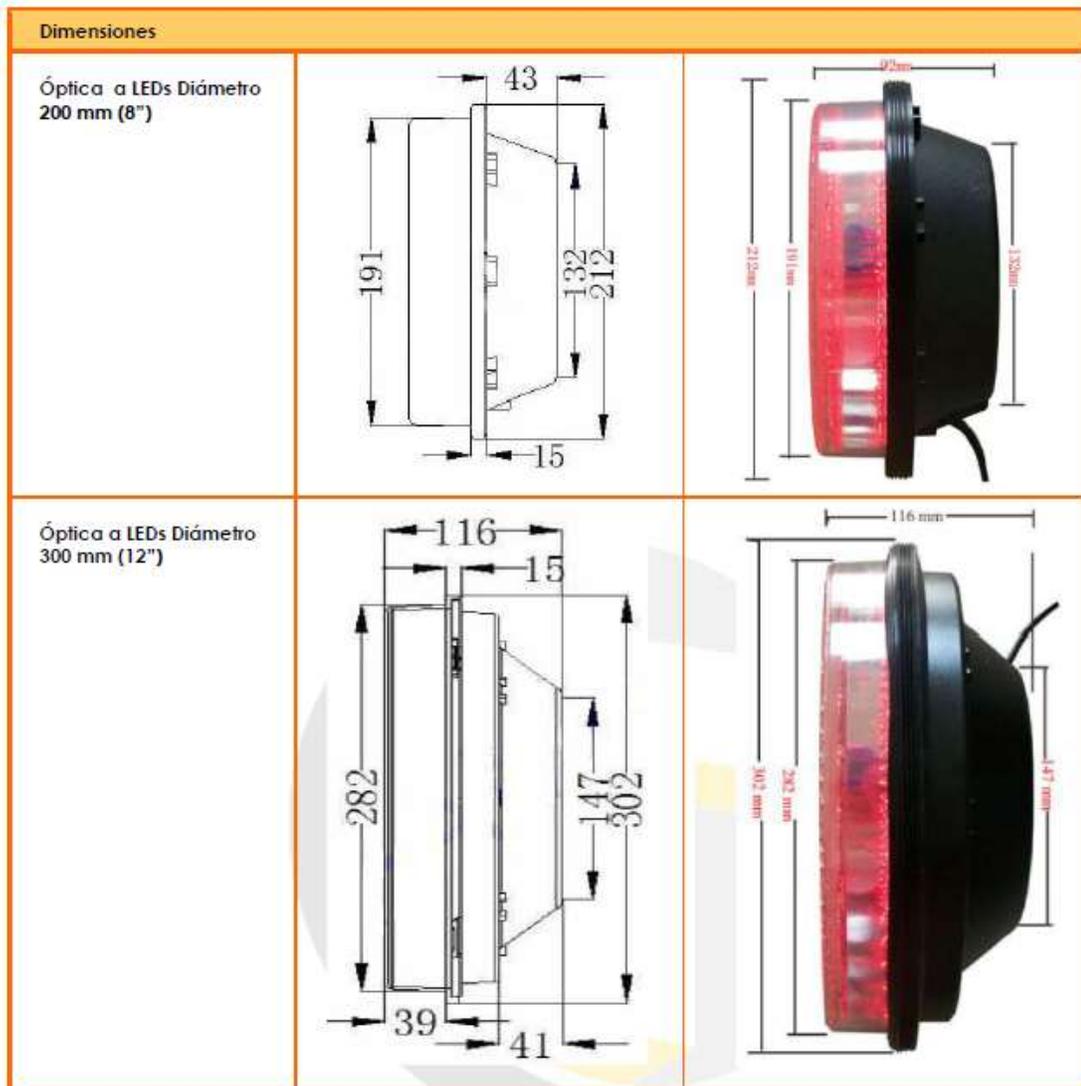
**d) Conexión**

- Se conecta directamente al controlador de tránsito o a un destellador sin la necesidad de alguna fuente de alimentación adicional.
- El sistema de alimentación compuesto por una fuente Switching permite que las ópticas a LEDs sean compatibles con todo tipo de controlador de tránsito existente en el mercado.

**e) Ventajas**

- Permiten un ahorro considerable del consumo eléctrico en más de un 85 % respecto de las lámparas incandescentes convencionales.
- Vida útil muy superior respecto de las obsoletas lámparas incandescentes.
- Mayor visibilidad aun en las condiciones más adversas.
- Reducción de los períodos de mantenimiento gracias a su extensa vida útil.

**Figura 2.17** Dimensiones de los semáforos para circulación vehicular



Fuente: [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

**Figura 2.18** Especificaciones ópticas a LEDs tipo multipunto diámetro 300 mm (12")

Ópticas Multipunto Diámetro 300 mm (12")	Intensidad Luminica	Cantidad de LEDs	Color	Longitud de Onda	Consumo
	$\geq 600$ cd	168 LEDs	Rojo	$625\pm 5$ nm	$\leq 15$ Watts
	$\geq 800$ cd	168 LEDs	Ambar	$590\pm 5$ nm	$\leq 15$ Watts
	$\geq 800$ cd	168 LEDs	Verde	$505\pm 5$ nm	$\leq 15$ Watts
	$\geq 10.000$ cd/m <sup>2</sup>	65 LEDs	Rojo	$625\pm 5$ nm	$\leq 8$ Watts
	$\geq 10.000$ cd/m <sup>2</sup>	65 LEDs	Ambar	$590\pm 5$ nm	$\leq 8$ Watts
	$\geq 20.000$ cd/m <sup>2</sup>	65 LEDs	Verde	$505\pm 5$ nm	$\leq 8$ Watts

Fuente: [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

Figura 2.19 Especificaciones ópticas a LEDs tipo multipunto diámetro 200 mm (8")

Ópticas Multipunto Diámetro 200 mm (8")	Intensidad Luminica	Cantidad de LEDs	Color	Longitud de Onda	Consumo
	$\geq 400$ cd	90 LEDs	Rojo	$625\pm 5$ nm	$\leq 9$ Watts
	$\geq 600$ cd	90 LEDs	Ambar	$590\pm 5$ nm	$\leq 9$ Watts
	$\geq 600$ cd	90 LEDs	Verde	$505\pm 5$ nm	$\leq 9$ Watts
	$\geq 15.000$ cd/m <sup>2</sup>	38 LEDs	Rojo	$625\pm 5$ nm	$\leq 6$ Watts
	$\geq 15.000$ cd/m <sup>2</sup>	38 LEDs	Ambar	$590\pm 5$ nm	$\leq 6$ Watts
	$\geq 30.000$ cd/m <sup>2</sup>	38 LEDs	Verde	$505\pm 5$ nm	$\leq 6$ Watts

Fuente: [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

### 2.19.2. Semáforos para pasos peatonales

### **2.19.2.1. Especificaciones**

#### **a) Composición**

- El semáforo se compone de dos módulos, uno de ellos aloja al peatón caminando (color verde o blanco), y el restante, al peatón detenido (color rojo).

#### **b) Consumo**

- Menor a 15 Watts.

#### **c) Vida útil**

- 50.000 horas.

#### **d) Construcción**

- Tanto el peatón detenido (color rojo) como el peatón caminando (color verde o blanco), se encuentran compuestos por LEDs de alta luminosidad los cuales aseguran una alta potencia lumínica y una larga vida útil del sistema.

#### **e) Conexionado**

- Se conecta directamente al controlador de tránsito sin la necesidad de alguna fuente de alimentación adicional.

#### **f) LEDs**

- Construida con LEDs de alto brillo para aplicaciones en señalización de tránsito.
- Ángulo de visión de los LEDs: 30°.

#### **g) Tensiones y formatos**

El semáforo peatonal se encuentra disponible en las siguientes dimensiones y formatos:

- 2 secciones redondas en diámetro 200 mm.
- 2 secciones cuadradas de 210 mm x 210 mm.

**Figura 2.20** Semáforos para pasos peatonales



**Imagen N° 1**



**Imagen N° 2**



**Imagen N° 3**



**Imagen N° 4**

**Fuente:** [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

### **2.19.3. Semáforo peatonal animado para no vidente**

### 2.19.3.1. Especificaciones

#### a) Composición

- El semáforo se compone de dos módulos, uno de ellos aloja al peatón caminando (color verde o blanco), y el restante, al peatón detenido (color rojo). El sistema posee inteligencia incorporada la cual se utiliza para ajustar constantemente el tiempo de la cuenta regresiva, tiempo disponible por el peatón para cruzar la calzada.

#### b) Consumo

- Menor a 15 Watts.

#### c) Vida útil

- 60.000 horas.

#### d) Funcionamiento

Peatón detenido: Se encuentra compuesto por LEDs rojos de alta luminosidad los cuales aseguran una alta potencia lumínica y una larga vida útil del sistema. El funcionamiento se basa en el uso de un micro controlador de 8 bits dotando al sistema de inteligencia.

Durante el tiempo de prohibición de cruce, se encontrará encendido el peatón rojo (detenido).



Durante el tiempo de cruce peatonal, se mostrará la cuenta regresiva indicando el lapso de tiempo que le resta al peatón para cruzar la calzada.



Peatón caminando: Se encuentra compuesto por LEDs verdes o blancos de alta luminosidad los cuales aseguran una alta potencia lumínica y una larga vida útil del sistema.

Durante el tiempo de prohibición de cruce, el módulo se encontrará apagado, mientras que, durante el tiempo de habilitación peatonal, se mostrará la animación de un peatón en movimiento el cual aumenta la velocidad al aproximarse al final del tiempo de cruce.

El semáforo peatonal posee incorporado un sistema sonoro el cual emitirá beeps indicando que el peatón puede cruzar (tiempo de verde). Por otro lado, cuando el tiempo de cruce está llegando a su final, el peatonal emitirá beeps rápidos indicando que se está agotándose el tiempo de cruce.

#### e) **Conexionado**

- Posibilidad de eliminar el sonido mediante el uso de la entrada de supresión utilizada para tal fin.
- Debemos tener en cuenta que el semáforo peatonal deberá poseer alimentación constante de la tensión de línea.

**Figura 2.21** Semáforo peatonal animado para no vidente



Imagen N° 1



Imagen N° 2



Imagen N° 3



Imagen N° 4

Fuente: [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

#### 2.19.4. Semáforo de Policarbonato a LEDs con base

#### **2.19.4.1. Especificaciones**

##### **a) Usos**

- Muy comúnmente utilizado para señalar isletas de estaciones de peaje.

##### **b) Consumo**

- Menor a 9 Watts.

##### **c) Vida útil**

- 60.000 horas.

##### **d) LEDs**

- Construida con LEDs de alto brillo para aplicaciones en señalización de tránsito. Los LEDs se encuentran circuitalmente conectados de tal forma que el fallo de uno de ellos no afecta al funcionamiento de los demás.
- Ángulo de visión: Derecha a izquierda 60°.
- Intensidad lumínica mayor a 600 candelas.

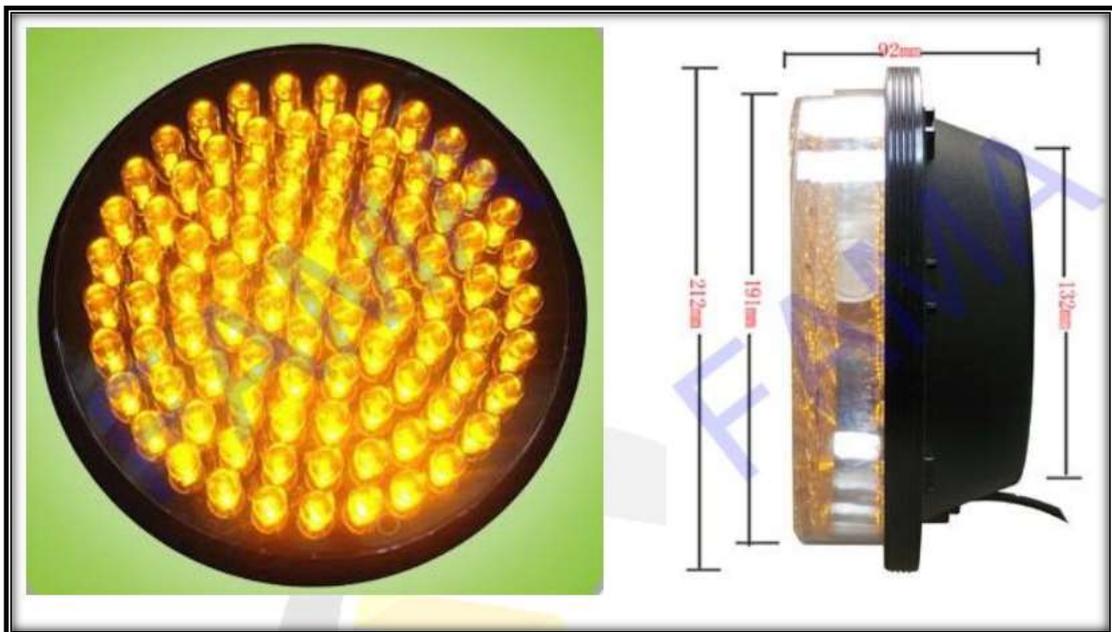
##### **e) Construcción de la óptica a LEDs**

- Frente de acrílico con protección UV.
- Sistema completamente sellado contra el ingreso de agua y el polvo.

##### **f) Conexión**

- Se conecta directamente al controlador de tránsito o a un destellador sin la necesidad de alguna fuente de alimentación adicional.

**Figura 2.22** Semáforo de Policarbonato a LEDs con base



Fuente: [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

### 2.19.5. Contadores regresivos

### **2.19.5.1. Aplicación**

Informar a los conductores vehiculares y a los peatones el tiempo de espera y el tiempo de verde, reduciendo la posibilidad de accidentes.

### **2.19.5.2. Especificaciones**

#### **a) Consumo**

- 20 Watts.

#### **b) Vida útil**

- 60.000 horas. Superior a 8 años de servicio.

#### **c) Construcción**

- Diseño ultra delgado y de bajo peso lo cual facilita notablemente su instalación.
- Diseño robusto resistente a golpes y vibraciones.
- Sistema completamente sellado contra el ingreso de agua y el polvo.
- Construcción modular muy conveniente para realizar tareas de mantenimiento.

#### **d) Control digital**

- La cuenta regresiva posee un funcionamiento completamente automático el cual se basa en su control digital encargado de la determinación del tiempo de conteo de verde y rojo.
- La cuenta regresiva lleva a cabo una operación estable mediante la adopción de un supervisor de bloqueo de programa incorporado (Watchdog).

#### **e) Protecciones**

- Varistores de óxido metálico de alta capacidad de corriente.

- Protectores gaseosos utilizados para proteger a la cuenta regresiva de las descargas atmosféricas.
- Fusibles de polímero auto regenerativos.

**f) Conexión**

- Se conecta directamente al controlador de tránsito sin la necesidad de alguna fuente de alimentación adicional

**Figura 2.23** Contadores regresivos



**Fuente:** [www.tecnotrans.com.ar](http://www.tecnotrans.com.ar)

**2.20. Ventajas de los semáforos LEDs**

Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y actualmente y debido a su rentabilidad, se están utilizando lámparas LEDs para la señalización luminosa, puesto que las lámparas de LEDs utilizan solo 10 % de la energía consumida por las

lámparas incandescentes, tienen una vida estimada 50 veces superior, y por tanto generan importantes ahorros de energía y de mantenimiento, satisfaciendo el objetivo de conseguir una mayor fiabilidad y seguridad pública. Entre las mayores ventajas que tienen las señales luminosas con LEDs figuran:

**a) Ecológicos**

Los dispositivos basados en LED, no contienen mercurio, plomo, gases contaminantes, y no emiten Radiación UV o Infrarroja. Tienen 40 veces mayor duración, ahorran gran cantidad de energía y pueden ser totalmente reciclados, un punto significativo a tener en cuenta en las instalaciones y especialmente en las de tipo público que permite certificar ISO14000.

**b) Baja temperatura**

Al consumir poca energía, el LED emite muy poco calor. Una lámpara halógena de 100w, gasta aproximadamente 85W en calor, generando un gasto extraordinario en la climatización y una a LED emite solo el 15%

**c) Encendido instantáneo**

El encendido y apagado de los LED es instantáneo. No parpadean ni tienen variaciones de intensidad. No se degrada por el simple hecho de encender-apagar-encender, lo que los hace muy ideales en sistemas donde el ciclo es muy frecuente.

**d) Calidad Lumínica**

La iluminación LED es considerada amigable al entorno debido a su reducido consumo energético y con un valor de reciclaje de sus componentes superior al 98%.

Los LEDs convierten en luz el 90% de la energía consumida, una lámpara tradicional sólo convierte el 15% en luz, el resto es calor.

**e) Mayor resistencia**

Soporta bien las vibraciones provocadas por el viento y el tráfico y posee una mayor resistencia al impacto.

**2.20.1. Ahorro**

**a) Ahorro en los costos de energía**

Entre un 40% y un 90%, las lámparas de LEDs rinden entre 100 -150 lúmenes por vatio. Como ejemplo de la eficiencia lumínica un halógeno es tan solo de 20 a 25 lúmenes por vatio.

**b) Ahorro en costos de mantenimiento**

Por su duración, los LEDs no tienen filamentos u otras partes mecánicas sujetas a rotura ni a fallos por “fundido”. No existe un punto en que cesen de funcionar, sino que su degradación es gradual a lo largo de su vida útil.

Se considera una duración estimada de 50.000 y 100.000 horas cuando su luminosidad decae por debajo del 70% de la inicial, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 365 días/año.

**c) Retorno de la inversión**

El ahorro de energía, bajo mantenimiento y vida útil de los semáforos de LED hacen que la inversión se recupere en menos de la mitad de la durabilidad de los mismos.

**2.20.2. Tecnología LED y el medio ambiente**

La iluminación LED es considerada favorable al medio ambiente, debido a su reducido consumo, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera al necesitarse producir menos energía.

**Figura 2.24** Tecnología LED y el medio ambiente



**Fuente:** Elaboración Propia.

- Aprovecha el 90% de la energía que consume.
- Reduce las emisiones de CO<sup>2</sup>.
- No emite Radiación ultravioleta.
- No emite infrarrojos.
- No contiene mercurio.

### **2.21. Intensidad de luz**

En fotometría, la intensidad luminosa se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela (Cd).

### 2.22. Emitancia luminosa

En fotometría, la emitancia luminosa (M), o exitancia luminosa es la cantidad de flujo luminoso que emite una superficie por unidad de área, mientras que, la iluminancia (E) es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida tanto de la Emitancia Luminosa como de la Iluminancia en el Sistema Internacional es el lux:  $1 \text{ lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$ .

### 2.23. Flujo luminoso

El flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida. Difiere del flujo radiante, la medida de la potencia total emitida, en que está ajustada para reflejar la sensibilidad del ojo humano a diferentes longitudes de onda.

Si una fuente luminosa emite una candela de intensidad luminosa uniformemente en un ángulo sólido de un estereorradián, su flujo luminoso total emitido en ese ángulo es un lumen. Alternativamente, una fuente luminosa isótropa de una candela emite un flujo luminoso total de exactamente lúmenes. Se puede interpretar el lumen de forma menos rigurosa como una medida de la "cantidad" total de luz visible en un ángulo determinado, o emitida por una fuente dada.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} = 1 \text{ lx} \cdot \text{m}^2$$

## CAPÍTULO 3

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1.Introducción

En el presente capítulo se procederá a realizar toda la aplicación práctica. Se comenzará el análisis desde un principio, como ser, la elección de la ubicación del área estudio, la descripción del área de estudio, realizar inventario de semáforos de la ciudad de Tarija identificando los semáforos LED y convencionales, inventario de ser los ciclos y fases del semáforo, determinar las diferentes ventajas que presenta el semáforo LED respecto a los convencionales en cuanto a luminosidad, consumo de energía, costo de consumo de energía, realizar aforos de colas para determinar la eficiencia de los semáforos en cuanto a mejor circulación, como también todos los cálculos correspondientes. Para concluir se realizará todo el análisis del estudio y se obtendrán las diversas soluciones para buscar las conclusiones y recomendaciones necesarias al tema de estudio.

### 3.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio está ubicada en la ciudad de Tarija, la cual cuenta con 88 intersecciones semaforizadas, de las cuales 53 son intersecciones semaforizadas con sistema de óptica LED y 35 son intersecciones semaforizadas con el sistema convencional.

De donde para nuestra investigación se utilizará como muestra, 40 intersecciones semaforizadas con sistema de óptica LED y 10 intersecciones semaforizadas con el sistema convencional. A continuación en la siguiente tabla se muestra las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Tarija.

**Tabla 3.1** Intersecciones semaforizadas de la Ciudad de Tarija

Nº	INTERSECCIONES	SEMÁFORO
1	AV. JAIME PAZ ZAMORA Y AV. BALDIVIEZO	LED
2	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y PJE. BLANCO GALINDO	LED
3	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y AV. ESPAÑA	LED

4	AV. JAIME PAZ ZAMORA Y AV. LA PAZ	LED
5	AV. JAIME PAZ ZAMORA (VÍA DEL MEDIO)	LED
6	AV. JAIME PAZ ZAMORA (TERMINAL)	LED
7	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y C/ PADILLA	LED
8	ROTONDA AV VICTOR PAZ Y C/ SUCRE	LED
9	ROTONDA AV. VICTOR PAZ Y C/ 15 DE ABRIL	LED
10	AV. PANAMERICANA Y C/ LA MADRID	LED
11	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y C/ BENI	LED
12	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y AV. COCHABAMBA	LED
13	AV. PANAMERICANA Y C/ COMERCIO	LED
14	AV PANAMERICANA Y PJE. IBAÑEZ	LED
15	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y C/COMERCIO	LED
16	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y AV. CIRCUNVALACIÓN	LED
17	AV.PANAMERICANA Y C/ SIN NOMBRE (PARADA DEL NORTE)	LED
18	ROTONDA AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. FROILÁN TEJERINA	LED
19	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. MEJILLONES	LED
20	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ GRAL. TRIGO	LED
21	ROTONDA AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ COLON	LED
22	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ SAN BERNARDO	LED
23	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. LA PAZ	LED
24	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. GAMONEDA	LED
25	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ FONT	LED
26	C/ SANTA CRUZ Y C/ LA MADRID	LED
27	C/ COLON Y C/ 15 DE ABRIL	LED
28	C/ COLON Y C/ INGAVI	LED
29	AV. COCHABAMABA Y C/ COLON	LED
30	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ 15 DE ABRIL	LED
31	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ LA MADRID	LED
32	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ INGAVI	LED
33	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ BOLIVAR	LED
34	AV. DOMINGO PAZ Y C/ DANIEL CAMPOS	LED
35	AV. COCHABAMABA Y C/ DANIEL CAMPOS	LED
36	C/ SUCRE Y C/ 15 DE ABRIL	LED
37	C/ SUCRE Y C/ LA MADRID	LED
38	C/ SUCRE Y C/ INGAVI	LED
39	C/ SUCRE Y C/ BOLIVAR	LED
40	AV. DOMINGO PAZ Y C/ SUCRE	LED
41	C/ SUCRE Y C/ CORRADO	LED
42	AV. COCHABAMABA Y C/ SUCRE	LED
43	C/ GRAL. TRIGO Y C/ 15 DE ABRIL	LED

44	C/ GRAL. TRIGO Y C/ LA MADRID	LED
45	C/ GRAL. TRIGO Y C/ INGAVI	LED
46	C/ GRAL. TRIGO Y C/ BOLIVAR	LED
47	AV. DOMINGO PAZ Y C/ GRAL. TRIGO	LED
48	C/ GRAL. TRIGO Y C/ CORRADO	LED
49	AV. COCHABAMBA Y C/ GRAL. TRIGO	LED
50	C/ CAMPERO Y C/ CORRADO	LED
51	AV. COCHABAMBA Y C/ CAMPERO	LED
52	AV. COCHABAMBA Y C/ DAMASO AGUIRRE	LED
53	AV. COCHABAMBA Y C/ BALLIVIAN	LED
54	AV. BELGRANO Y AV ESPAÑA	Normal
55	AV. BELGRANO Y AV. LA PAZ	Normal
56	AV. LA PAZ Y C/ BOLIVAR	Normal
57	AV. LA PAZ Y AV. POTOSI	Normal
58	AV. BELGRANO Y C/ O CÓNOR	Normal
59	C/ LA MADRID Y C/ O CÓNOR	Normal
60	C/ INGAVI Y C/ O CÓNOR	Normal
61	AV. POTOSÍ Y C/ JUNÍN	Normal
62	AV. POTOSÍ Y C/ SANTA CRUZ	Normal
63	C/ MENDEZ Y C/ 15 DE ABRIL	Normal
64	C/ MENDEZ Y C/ LA MADRID	Normal
65	C/ MENDEZ Y C/ INGAVI	Normal
66	C/ MENDEZ Y C/ BOLIVAR	Normal
67	C/ SUIPACHA Y C/ VIRGINIO LEMA	Normal
68	C/ SUIPACHA Y C/ 15 DE ABRIL	Normal
69	C/ SUIPACHA Y C/ LA MADRID	Normal
70	C/ SUIPACHA Y C/ INGAVI	Normal
71	C/ SUIPACHA Y C/ BOLIVAR	Normal
72	C/ COLON Y C/ VIRGINIO LEMA	Normal
73	C/ COLON Y C/ LA MADRID	Normal
74	C/ COLON Y C/ BOLIVAR	Normal
75	AV. DOMINGO PAZ Y C/ COLON	Normal
76	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ VIRGINIO LEMA	Normal
77	C/ CAMPERO Y C/ 15 DE ABRIL	Normal
78	C/ CAMPERO Y C/ INGAVI	Normal
79	C/ CAMPERO Y C/ BOLIVAR	Normal
80	AV. DOMINGO PAZ Y C/ CAMPERO	Normal
81	C/ J.M. SARACHO Y C/ 15 DE ABRIL	Normal
82	C/ J.M. SARACHO Y C/ LA MADRID	Normal
83	C/ J.M. SARACHO Y PJE. BALDIVIEZO	Normal

84	C/ J.M. SARACHO Y C/ INGAVI	Normal
85	C/ J.M. SARACHO Y C/ BOLIVAR	Normal
86	AV. COCHABAMBA Y C/ HUGO LOPEZ DOLSS	Normal
87	AV. MEJILLONES Y C/ 4 DE JULIO	Normal
88	C/ GRAL. TRIGO Y C/ AYOROA	Normal

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 3.2** Intersecciones semaforizadas de la ciudad de Tarija para el Estudio

Nº	INTERSECCIONES	SEMAFORO
1	AV. BELGRANO Y AV ESPAÑA	Normal
2	AV. BELGRANO Y AV. LA PAZ	Normal
3	C/ INGAVI Y C/ O CONNOR	Normal
4	AV. POTOSÍ Y C/ JUNÍN	Normal
5	C/ MENDEZ Y C/ LA MADRID	Normal
6	C/ MENDEZ Y C/ BOLIVAR	Normal
7	C/ SUIPACHA Y C/ INGAVI	Normal
8	C/ SUIPACHA Y C/ BOLIVAR	Normal
9	C/ COLON Y C/ BOLIVAR	Normal
10	C/ CAMPERO Y C/ BOLIVAR	Normal
11	C/ COLON Y C/ 15 DE ABRIL	LED
12	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ 15 DE ABRIL	LED
13	C/ SUCRE Y C/ 15 DE ABRIL	LED
14	C/ GRAL. TRIGO Y C/ 15 DE ABRIL	LED
15	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ LA MADRID	LED
16	C/ SUCRE Y C/ LA MADRID	LED
17	C/ COLON Y C/ INGAVI	LED
18	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ INGAVI	LED
19	C/ SUCRE Y C/ INGAVI	LED
20	C/ DANIEL CAMPOS Y C/ BOLIVAR	LED
21	C/ SUCRE Y C/ BOLIVAR	LED
22	C/ GRAL. TRIGO Y C/ BOLIVAR	LED
23	AV. DOMINGO PAZ Y C/ DANIEL CAMPOS	LED
24	AV. DOMINGO PAZ Y C/ SUCRE	LED
25	AV. DOMINGO PAZ Y C/ GRAL. TRIGO	LED

26	C/ SUCRE Y C/ CORRADO	LED
27	C/ GRAL. TRIGO Y C/ CORRADO	LED
28	AV. COCHABAMABA Y C/ COLON	LED
29	AV. COCHABAMABA Y C/ DANIEL CAMPOS	LED
30	AV. COCHABAMBA Y C/ SUCRE	LED
31	AV. COCHABAMBA Y C/ GRAL. TRIGO	LED
32	AV. COCHABAMBA Y C/ CAMPERO	LED
33	AV. COCHABAMBA Y C/ BALLIVIAN	LED
34	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y PJE. BLANCO GALINDO	LED
35	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y AV. ESPAÑA	LED
36	ROTONDA AV. JAIME PAZ ZAMORA Y C/ PADILLA	LED
37	ROTONDA AV. VICTOR PAZ Y C/ SUCRE	LED
38	AV. PANAMERICANA Y C/ LA MADRID	LED
39	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y C/ BENI	LED
40	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y AV. COCHABAMBA	LED
41	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y C/COMERCIO	LED
42	ROTONDA AV. PANAMERICANA Y AV. CIRCUNVALACIÓN	LED
43	ROTONDA AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. FROILÁN TEJERINA	LED
44	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. MEJILLONES	LED
45	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ GRAL. TRIGO	LED
46	ROTONDA AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ COLON	LED
47	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ SAN BERNARDO	LED
48	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. LA PAZ	LED
49	AV. CIRCUNVALACIÓN Y AV. GAMONEDA	LED
50	AV. CIRCUNVALACIÓN Y C/ FONT	LED

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.3. Descripción del área de estudio

Los semáforos están ubicados en intersecciones de diferente tipo, 24 semáforos en intersecciones simples – simple, 9 semáforos en intersecciones dobles - simple, 5 semáforos en intersecciones doble – doble y 12 semáforos en intersecciones de tipo

rotondas, de los cuales 40 son intersecciones con semáforos con óptica LED y 10 son intersecciones con sistema convencional.

A continuación se muestran algunas de las tipos de intersecciones del área de estudio.

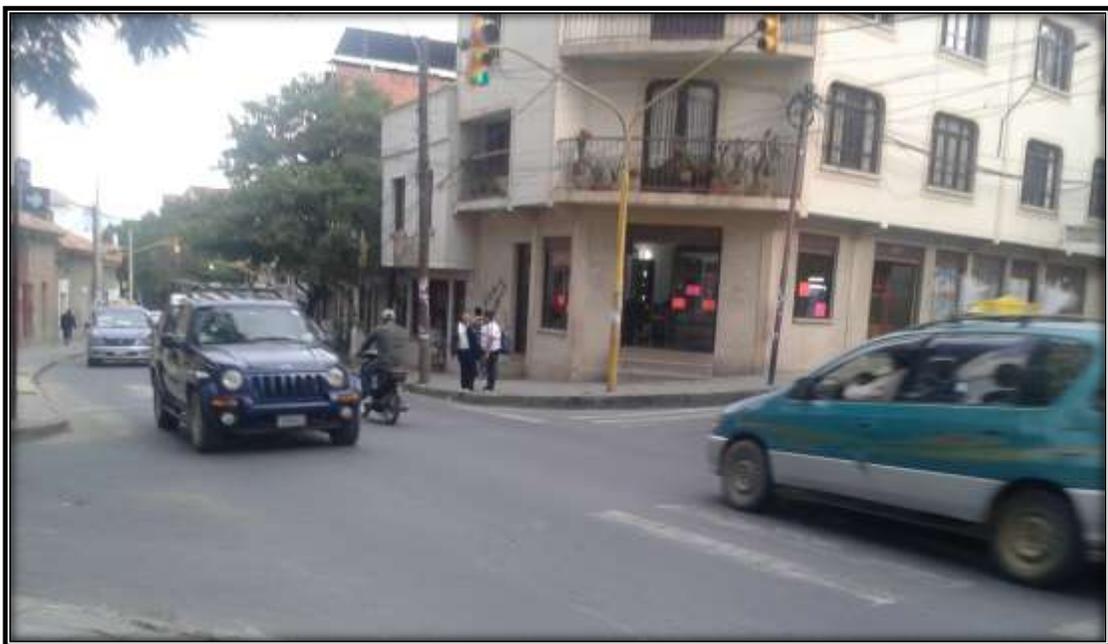
**Figura 3.1** Intersección Simple – Simple c/ Ingavi – c/ Gral. Trigo



**Figura 3.2** Intersección Doble – Simple Av. Cochabamba – c/ Campero



**Figura 3.3** Intersección Doble – Simple Av. Cochabamba – c/ Campero



**Figura 3.4** Intersección Doble – Doble Av. Belgrano – Av. España



**Figura 3.5** Intersección Doble – Doble Av. Belgrano – Av. La Paz



**Figura 3.6** Intersección Tipo Rotonda Av. Jaime Paz Zamora – Av. España



**Tabla 3.3.** Inventario de ciclos y fases de los semáforos de muestra del estudio

<b>INVENTARIO DE CICLOS DE CICLO Y FASES DE LOS SEMÁFOROS</b>						
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>FASE ROJA (seg)</b>	<b>FASE AMARILLA (seg)</b>	<b>FASE VERDE (seg)</b>	<b>CICLO (seg)</b>	<b>ÁREA (mm)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO	16	2	18	36	200
	AV. ESPAÑA	20	2	14	36	200
<b>2</b>	AV. BELGRANO	22	2	18	42	200
	AV. LA PAZ	22	2	18	42	200
<b>3</b>	INGAVI	19	2	17	38	200
	O` CÓNOR	19	2	17	38	200
<b>4</b>	AV. POTOSÍ	18	2	20	40	200
	JUNÍN	22	2	16	40	200
<b>5</b>	MENDEZ	22	2	18	42	200
	MADRID	22	2	18	42	200
<b>6</b>	MENDEZ	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
<b>7</b>	SUIPACHA	22	2	18	42	200

	INGAVI	22	2	18	42	200
8	SUIPACHA	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
9	COLON	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
10	CAMPERO	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
11	COLON	22	2	18	42	200
	15 DE ABRIL	22	2	18	42	200
12	DANIEL CAMPOS	22	2	18	42	200
	15 DE ABRIL	22	2	18	42	200
13	SUCRE	22	2	18	42	200
	15 DE ABRIL	22	2	18	42	200
14	GRAL. TRIGO	22	2	18	42	200
	15 DE ABRIL	22	2	18	42	200
15	DANIEL CAMPOS	22	2	18	42	200
	LA MADRID	22	2	18	42	200
16	SUCRE	22	2	18	42	200
	LA MADRID	22	2	18	42	200
17	COLON	22	2	18	42	200
	INGAVI	22	2	18	42	200
18	DANIEL CAMPOS	22	2	18	42	200
	INGAVI	22	2	18	42	200
19	SUCRE	22	2	18	42	200
	INGAVI	22	2	18	42	200
20	DANIEL CAMPOS	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
21	SUCRE	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200
22	GRAL. TRIGO	22	2	18	42	200
	BOLIVAR	22	2	18	42	200

23	DOMINGO PAZ	20	2	14	36	200
	DANIEL CAMPOS	16	2	18	36	200
24	DOMINGO PAZ	20	2	14	36	200
	SUCRE	16	2	18	36	200
25	DOMINGO PAZ	16	2	18	36	200
	GRAL. TRIGO	20	2	14	36	200
26	SUCRE	15	3	18	36	200
	CORRADO	21	3	12	36	200
27	GRAL. TRIGO	15	3	18	36	200
	CORRADO	21	3	12	36	200
28	COCHABAMBA	18	2	20	40	200
	COLON	22	2	16	40	200
29	COCHABAMBA	16	2	18	36	200
	DANIEL CAMPOS	20	2	14	36	200
30	COCHABAMBA	16	2	18	36	200
	SUCRE	20	2	14	36	200
31	COCHABAMBA	16	2	18	36	200
	GRAL. TRIGO	20	2	14	36	200
32	COCHABAMBA	16	2	22	40	200
	CAMPERO	24	2	14	40	200
33	COCHABAMBA	22	2	18	42	200
	BALLIVIAN	20	2	20	42	200
34	JAIME PAZ ZAMORA	18	2	20	40	300
	ALTO DE LA ALIANZA	22	2	16	40	300
35	JAIME PAZ ZAMORA	21	2	25	48	300
	ESPAÑA	27	2	19	48	300
36	JAIME PAZ ZAMORA	24	2	25	51	300
	PADILLA	29	2	20	51	300
37	JAIME PAZ ZAMORA	27	2	25	54	300
	SUCRE	29		25	54	300
38	JAIME PAZ ZAMORA	16	2	20	38	300
	15 DE ABRIL	22	2	14	38	300

39	PANAMERICANA	21	2	20	43	300
	JAIME PAZ ZAMORA	21	2	20	43	300
40	PANAMERICANA (SUBE)	16	2	22	40	300
	PANAMERICANA (BAJA)	20	2	18	40	300
41	PANAMERICANA	18	2	20	40	300
	COMERCIO	22	2	16	40	300
42	PANAMERICANA	18	2	20	40	300
	CIRCUNVALACIÓN	22	2	16	40	300
43	CIRCUNVALACIÓN	21	3	20	44	300
	FROILÁN TEJERINA	25	2	17	44	300
44	CIRCUNVALACIÓN	18	2	20	40	200
	MEJILLONES	22	2	16	40	200
45	CIRCUNVALACIÓN	15	2	25	42	200
	GRAL. TRIGO	27	2	13	42	200
46	CIRCUNVALACIÓN	18	2	20	40	200
	COLON	22	2	16	40	200
47	CIRCUNVALACIÓN	18	2	20	40	200
	SAN BERNARDO	22	2	16	40	200
48	CIRCUNVALACIÓN	16	2	18	36	200
	LA PAZ	20	2	14	36	200
49	CIRCUNVALACIÓN	18	2	20	40	200
	GAMONEDA	22	2	16	40	200
50	CIRCUNVALACIÓN	16	2	18	36	200
	FONT	20	2	14	36	200

Elaboración Propia.

### **3.4. Funcionamiento de semáforos convencionales y semáforos LED**

El funcionamiento de los semáforos en la ciudad de Tarija se realiza de la misma manera ya sea para semáforos convencionales como para semáforos LED, a continuación se muestra el funcionamiento:

- Funcionamiento de operacionalización de los semáforos
- Funcionamiento en horas de uso de los semáforos

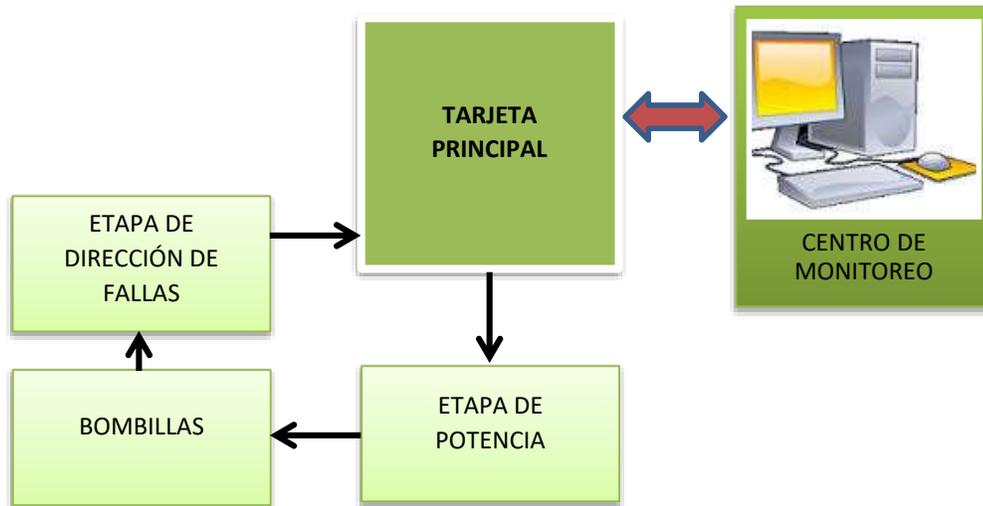
#### **3.4.1. Funcionamiento de operacionalización de los semáforos**

El incremento de automotores en las vías del mundo en los últimos años, además del aumento de movilización de personas en el cumplimiento diario de sus labores, requieren el desarrollo de sistemas de semaforización cada vez más robustos, que permitan una oportuna detección y notificación de fallas, que conlleva primero, a lograr una reducción en la contaminación (auditiva y atmosférica) al minimizar el tiempo adicional que un vehículo permanece en las vías por fallas, sin ser detectadas en las redes de semaforización; segundo, evitar congestiones al reducir el tiempo de traslado de automotores y peatones de un lugar a otro; tercero, disminuir el tiempo de no funcionamiento de los semáforos de la intersección; cuarto, reducir los accidentes causados por la imprudencia de vehículos y peatones cuando los semáforos no funcionan de forma adecuada; finalmente, disminuir los niveles de estrés a los que se exponen a diario tanto conductores como peatones.

El monitoreo de las luces del controlador de tráfico vehicular, adicionalmente, cuenta con la posibilidad de configurar los tiempos y planes de señales que pueden cambiarse durante las 24 horas del día, siendo compatible con las diferentes clases de semáforos (halógenos, incandescentes y LED).

### 3.4.1.1.Desarrollo del sistema

**Figura3.7** Esquema general del sistema



El sistema está compuesto por una tarjeta principal, tarjetas de potencia que permiten el encendido de los semáforos y monitorean el correcto funcionamiento de las luces presentes en dicha intersección, una central remota que registra el estado de la intersección, adicionalmente, se maneja un módulo para la detección de vehículos de emergencia que se aproximan a la intersección para dar prioridad a su cruce, modificando temporalmente el ciclo de la intersección.

El modelo de intersección planteado es el mostrado en la figura 3.8., está compuesto por una vía en cada sentido de Sur a Norte y de Este a Oeste, y viceversa. Cada vía presenta un semáforo vehicular doble y dos peatonales en cada acceso a la intersección.

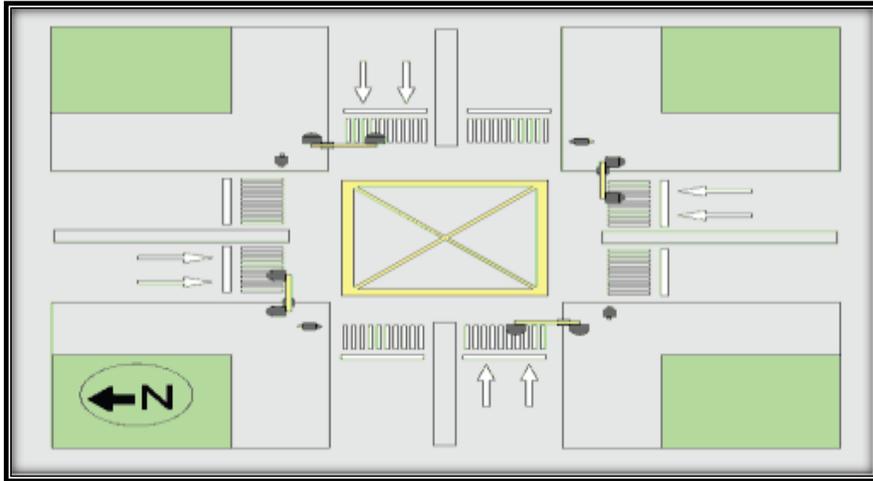
#### 3.4.1.1.1. Módulo principal

Este módulo se realiza utilizando la tarjeta, que está compuesta por un microcontrolador.

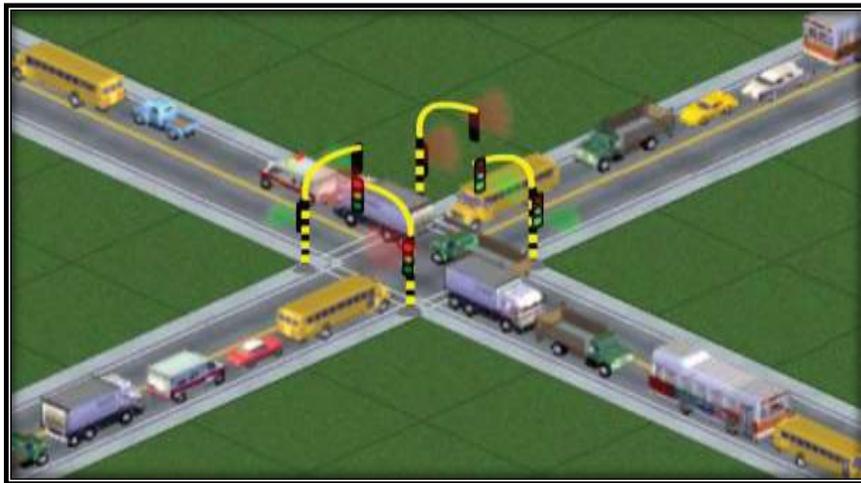
En el microcontrolador de esta tarjeta, se programan los tiempos de duración de las luces de los semáforos de la intersección, aunque pueden ser modificados por la central

de monitoreo a través de la comunicación basada en TCP/IP, mediante una tarjeta Serial Ethernet.

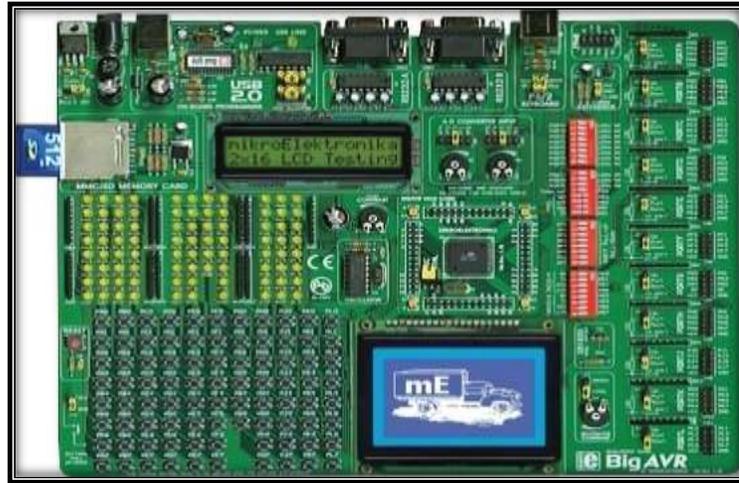
**Figura 3.8 a)** Esquema de la intersección sentido Norte – Sur y Este – Oeste vista superior



**Figura 3.8 b)** Esquema de la intersección sentido Norte – Sur y Este – Oeste simulación vehicular



**Figura 3.9** Tarjeta Principal



#### 3.4.1.1.2. Módulo de comunicación

La comunicación entre la tarjeta principal y la tarjeta Ethernet se divide en dos rutinas: la rutina principal y la rutina de recepción/transmisión. A continuación, se explican las funcionalidades de cada rutina.

##### **Rutina principal**

Esta rutina se encarga de realizar la detección de luces fundidas, el manejo de secuencias de los semáforos y la detección de vehículos de emergencia. Ahí se encuentra una secuencia especial para vehículos de emergencia que permite agilizar el cambio del semáforo a luz verde, en caso de detectar alguna señal de alerta. Por otra parte, existe un bloque de destello temporal en luz amarilla, que se genera si se recibe una comunicación de luces rojas fundidas o luces verdes conflictivas. La duración de este destello depende del tiempo que necesite el equipo técnico para solucionar la falla.

##### **Rutina de transmisión y recepción**

La rutina de recepción/transmisión, como su nombre lo indica, recibe las tramas provenientes de la central de monitoreo y transmite los reportes hacia la misma. Por ejemplo, si una falla se soluciona en un controlador de tráfico, a través de esta rutina se informa a la central para que suspendan las rutinas de seguridad y se inicie, lo antes posible, el funcionamiento normal de los semáforos de la intersección.

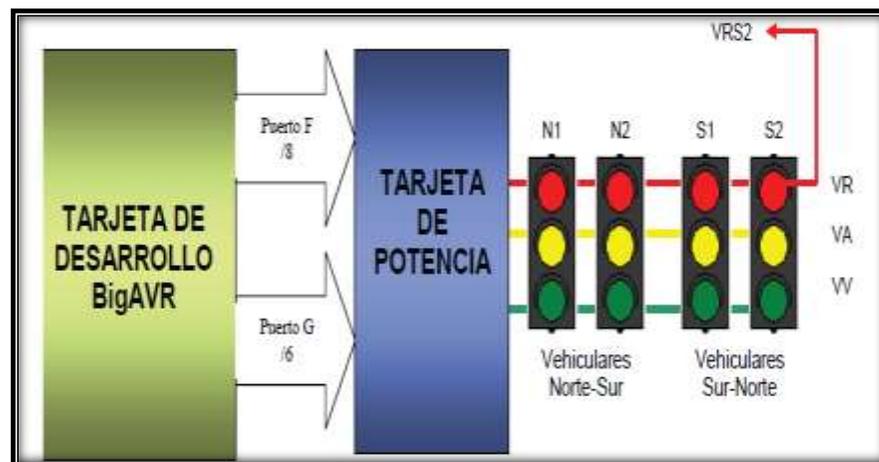
### 3.4.1.1.3. Módulo de potencia

Por medio de esta etapa se transforman los estados lógicos provenientes de la tarjeta principal, a los niveles de corriente alterna manejados por las luces de los semáforos (120 VAC) en el caso de los bombillos halógenos, incandescentes y de LED.

El módulo de potencia con la que se activan dos semáforos de grupos diferentes (por ejemplo, Norte-Sur y Este-Oeste). Por lo tanto, se necesitan cuatro tarjetas en total para una intersección, dos para los semáforos vehiculares y otras dos para los semáforos peatonales.

Esta tarjeta a su vez, sensa, mediante los transformadores, las luces rojas fundidas y el encendido de los bombillas verdes, lo cual se reporta a la tarjeta principal.

**Figura 3.10** Tarjeta de Potencia para dos semáforos



**Figura 3.11** Diagrama de Interconexión



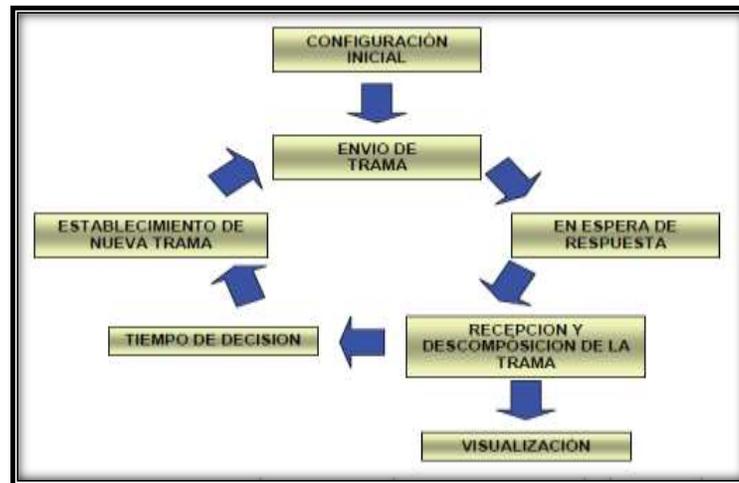
#### 3.4.1.1.4. Central de monitoreo

La central de monitoreo permite visualizar el estado de las luces de la intersección de forma remota, así como la administración de los tiempos de las luces verdes y rojas de la intersección. Adicionalmente, desde la central es posible establecer la fecha y hora de las notificaciones desde el servidor y el controlador de tráfico ubicado en la intersección.

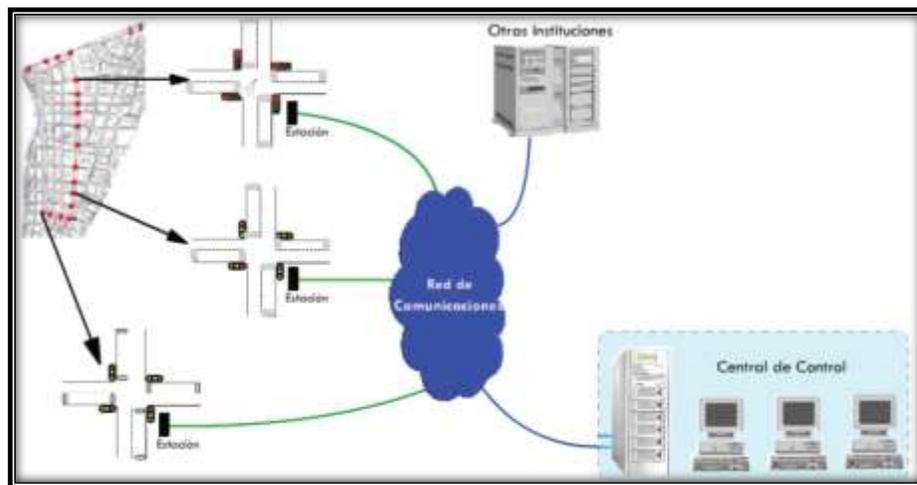
En la figura 3.12., se muestra una secuencia en bloques de las actividades del software de la central. En un comienzo se establece una configuración, donde se determinan características como la dirección IP destino y el puerto, luego se procede a enviar la trama (la cual se describe más adelante) a la tarjeta principal del controlador, después la central queda en espera de la respuesta de la tarjeta principal y luego se toman decisiones a partir de la información recibida en la trama.

En la figura 3.13., se muestra el diagrama de interconexión entre la central y los controladores de tráfico de cada cruce, en donde éstos se comunican a través de la infraestructura de un proveedor de servicios de internet o una red dedicada para este fin.

**Figura 3.12** Esquema de procesos de comunicación a la central de monitoreo



**Figura 3.13** Sistema de comunicación entre la central y los controladores de tráfico



En la figura 3.14., se muestran los semáforos de los cuatro accesos a la intersección (Norte, Sur, Este y Oeste) visualizados desde la central, de tal forma que si aparecen todas las luces encendidas es porque la intersección se encuentra funcionando correctamente.

**Figura 3.14** Visualización del estado de los bombillos de una intersección desde la central de monitoreo



### 3.4.2. Funcionamiento en horas de uso de los semáforos en la Ciudad.

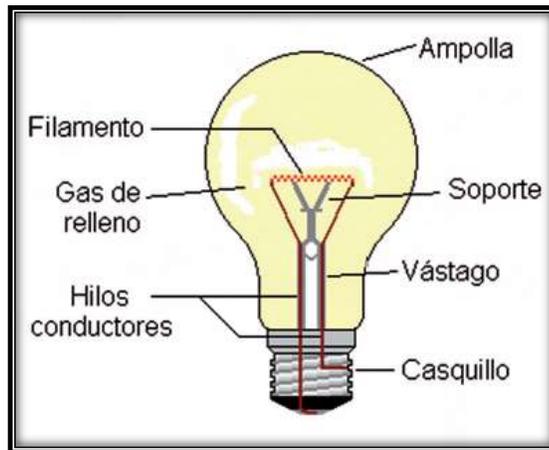
El funcionamiento en horas de uso comprende desde las 5:00 a.m. hasta las 24:00 horas con un funcionamiento normal que comprende las señales de rojo, amarillo y verde, y desde las 0:00 horas hasta las 5:00 a.m., debido a que el volumen de flujo vehicular no se enmarca dentro de lo mínimo requerido no se ve conveniente que los semáforos funcionen normalmente; sin embargo este funcionara solo con amarillo titilante dándole al flujo vehicular un aviso de precaución para la circulación de la intersección.

Haciendo notar que los funcionamientos mencionados son de la misma manera para los semáforos LED y los semáforos convencionales, ya que el cabezal del semáforo permite el cambio de óptica ya sea de lámpara incandescente, lámpara fluorescente o lámpara LED.

A continuación se explicara el funcionamiento de la lámpara incandescente y de la lámpara LED:

#### 3.4.2.1. Lámparas incandescentes

Son dispositivos formados por una ampolla de vidrio que contiene un gas inerte, argón o criptón, y un filamento de wolframio.

**Figura 3.15** Partes de una bombilla

Su principio de funcionamiento es simple: se hace pasar una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura (alrededor de 2,000 °C) que emite radiaciones visibles por el ojo humano. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio cuyo interior posee vacío o se ha rellenado con un gas.

En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Solo el 10% de la energía eléctrica consumida se convierte en luz visible.

**Figura 3.16** Rendimiento de una lámpara incandescente

Entre las lámparas incandescentes no halógenas se distinguen las que se han rellenado con un gas inerte y aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. Actualmente,

las lámparas con gas son más utilizadas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40W.

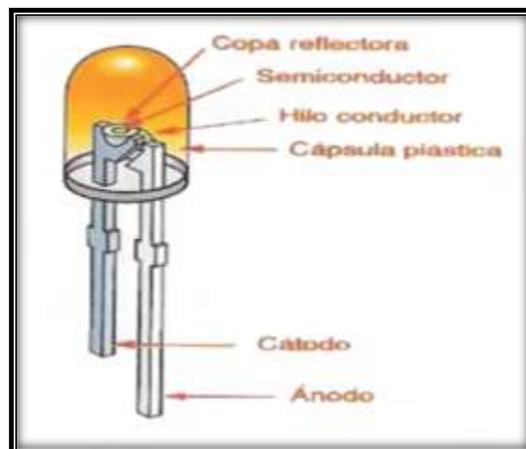
La duración de las lámparas incandescentes está normalizada; siendo de unas 1,000 horas para las normales, de 2,000 horas para halógenas en aplicaciones generales y de 4,000 para halógenas en aplicaciones especiales.

### 3.4.2.2.Lámparas LED

La tecnología LED de alta luminosidad reúne diversas ventajas y sus aplicaciones crecen cada día. Se trata de un sistema moderno, seguro y rentable que supone ahorros en energía eléctrica, reducción de gastos de mantenimiento, en reposición y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Un LED es un semiconductor que emite luz al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad, sin utilizar ningún filamento o gas y que tiene la propiedad clave de producir la misma cantidad de luz que las bombillas incandescentes tradicionales, pero utilizando un 90 % menos de energía.

**Figura 3.17** Partes de un dispositivo LED



## 3.5. Proceso metodológico

### 3.5.1. Comportamiento técnico

Para la obtención de datos primeramente se deberá determinar las horas pico de la circulación de vehículos, realizando aforos de vehículos por hora, en una intersección que cuente con semáforo con óptica LED y otro con semáforo convencional (Normal) durante un periodo de 12 horas que comprenderá desde las 7:00 horas hasta las 19:00 horas.

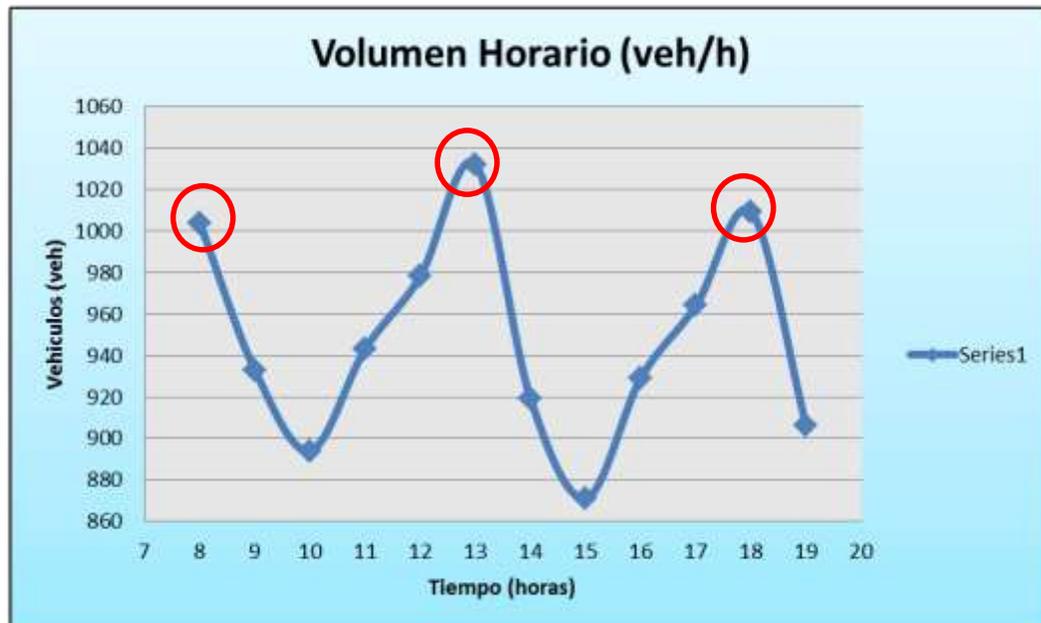
#### INTERSECCIÓN AV. CIRCUVALACIÓN – AV. LA PAZ (Semáforo LED)

**Tabla 3.4** Datos de Aforo Intersección Av. Circunvalación – Av. La Paz

Tiempo (horas)		VEH
7	8	1004
8	9	933
9	10	894
10	11	943
11	12	978
12	13	1032
13	14	919
14	15	871
15	16	929
16	17	964
17	18	1009
18	19	906

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 3.18** Volúmenes Horarios Intersección Av. Circunvalación – Av. La Paz



**Fuente:** Elaboración Propia.

Por lo que se determina que las horas pico se encuentran en las horas de 7:00 – 8:00, 12:00 – 13:00 y 17:00 – 18:00; por lo tanto se realizará los aforos durante estas 3 horas picos en las intersecciones que cuenten con semáforo de óptica LED.

**INTERSECCIÓN AV. POTOSÍ – JUNÍN (Semáforo Normal)**

**Tabla 3.5** Datos de Aforo Intersección Av. Potosí – Junín

Tiempo (horas)		VEH
7	8	754
8	9	682
9	10	652
10	11	644
11	12	699
12	13	645
13	14	619
14	15	645
15	16	667
16	17	656
17	18	661
18	19	689

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 3.19** Volúmenes Horarios Intersección Av. Potosí - Junín

**Fuente:** Elaboración Propia.

En este caso se determina que las horas picos se encuentran de 7:00 – 8:00, 11:00 – 12:00 y 18:00 – 19:00; por lo tanto se realizará los aforos durante estas 3 horas picos en las intersecciones que cuenten con semáforo convencionales (Normal).

### 3.5.1.1. Mediciones de aforo de colas

La medición de aforo de colas se lo realizará en períodos de 15 minutos entre las horas picos determinadas anteriormente, en 3 días de la semana, que será en dos días hábiles y 1 día no hábil.

El cual consiste en realizar el aforo de los vehículos que hacen cola por cada acceso de cada intersección, cuando el semáforo se encuentre en fase roja, el cual denominaremos en las planillas como (ANTES) y posteriormente cuando el semáforo cambie a fase verde se realizara el conteo de los vehículos que no logran circular, a este caso se lo denominará (DESPUÉS).

Estas planillas serán sometidos a un proceso de depuración donde para esto nos validaremos de fórmulas estadísticas de la media aritmética y la desviación estándar.

$$\bar{x} = M_{(x)} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} = \frac{\sum x}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

El rango de los datos esta entre  $\bar{x} \pm 3s$

Posteriormente se calculará la media aritmética de los datos de cola (antes) y de cola (después) en cada acceso, de lo cual se mostrará en tablas.

Se determinara la efectividad de vehículos que logran circular en cada acceso:

$$Efectividad = cola\ antes - cola\ despues$$

Dichos resultados de efectividad también se les determinara la media aritmética, para obtener valor medios de los vehículos que logran circular el acceso.

Por último se realiza el análisis correspondiente por separando los semáforos convencionales y semáforos LED, para así llegar a obtener conclusiones respecto a la eficiencia de los semáforos LED y semáforos convencionales (normales).

### **3.5.1.2. Mediciones de luminosidad**

#### **3.5.1.2.1. Instrumento de medición (Light intensity) luxómetro**

El proceso de la medición de luminosidad consistirá en medir con el testo 540 que es un luxómetro que se utiliza para medir la intensidad luminosa, dicho instrumento fue proporcionado por el laboratorio del departamento de Arquitectura de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Datos técnicos del instrumento:

- Parámetros de medición: Lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), foot candle ( $\text{lm}/\text{ft}^2$ ) donde  $\text{lm}$ = lumen.

Para el estudio de luminosidad emitida por los semáforos se lo medirá en Lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) para luego expresarlo en lumen, ya que es la unidad de flujo luminoso o cantidad de luz emitida del objeto, para lo cual se multiplicará por el área del foco del semáforo.

$$1\text{Lux} = 1 \frac{\text{Lm}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

Dónde:

Lux: Unidad de luminosidad

Lm = lumen cantidad de flujo luminoso

$\text{m}^2$ = Área de la superficie

Despejando para dejar en expresiones de cantidad de flujo luminoso:

$$1\text{Lm} = 1 \text{Lux} * \text{m}^2$$

### Modo de uso del instrumento para el estudio de luminosidad

**Figura 3.20** Luxómetro testo 540 medidor de intensidad de luz



Para garantizar la obtención de valores correctos se debe mantener el instrumento en posición paralela al objeto que queremos medir, en este estudio será el semáforo, de modo que el sensor de intensidad de luz quede señalando a la lente del semáforo.

El uso del instrumento es sencillo ya que solo se debe encender el instrumento con el botón de encender  y este comienza a medir la luminosidad.

Se configura la unidad de medición pulsando  hasta que aparezca la unidad deseada que son Lux y ftc, para el estudio se ajustara a la unidad  $\text{Lux} = \text{lm}/\text{m}^2$ .

El instrumento nos da la facilidad de reposicionar los valores al presionar la tecla mode  hasta reposicionar los valores deseados:

**Hold:** se mantiene los valores de medición.

**Max:** valores máximos desde la última vez que se encendió el instrumento.

**Min:** valores mínimos desde la última vez del encendido del instrumento.

Para el estudio se realizará el recorrido de cada intersección de muestra, midiendo la luminosidad de los semáforos colocados en cada acceso, se realiza en cada cabezal del semáforo, una medición por cada color (rojo, amarillo y verde).

Para no presentar dificultades la obtención de datos se lo realizó en horas de la noche ya que existe menor flujo vehicular y poder realizar la obtención de datos.

Con los datos de luminosidad de los semáforos LED y semáforos normales se determinará su cantidad de luz o flujo luminoso que emiten en promedio cada semáforo, para lo cual se le aplicara la media aritmética a los datos obtenidos, y con los mismos realizar un análisis sobre luminosidad, la variación que existe y la efectividad que proporciona los semáforos LED en relación a los semáforos convencionales.

### **3.5.2. Comportamiento ambiental (consumo de energía eléctrica)**

El parámetro de consumo de energía eléctrica es muy importante ya que se determinara cual es el consumo que genera cada cabezal del semáforo, ya que este afecta en el medio ambiente y también nos genera costo económico para la ciudad de Tarija.

El proceso para la realización de este parámetro se ha obtenido datos proporcionados por el Técnico encargado del Almacén de Alumbrado Público del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija y Cercado, del consumo de energía eléctrica de los semáforos de intersecciones que cuentan con medidores, de los cuales han sido proporcionado los 3 valores más significativos, al cual se le sacará valores medios para determinar cuánto consume cada cabezal del semáforo como promedio en kwh mensuales, tanto de semáforos convencionales como de los semáforos LED.

A lo cual se realizará un análisis sobre el consumo de energía de los semáforos LED y semáforos normales, la variación que existe y el ahorro efectivo que proporciona el uso de semáforo LED.

### **3.5.3. Comportamiento económico**

En este parámetro se expresará el consumo de energía eléctrica en unidades de costo en Bs. kwh mensuales, para el cual se ha recurrido a extraer información de la tarifa con la cual le cobra SETAR por el consumo de energía eléctrica en Bs. por cada kwh mensual al Almacén de Alumbrado Público del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija y Cercado, ya que este Almacén es el encargado del sistema semafórico de la Ciudad de Tarija. El cual se expresa en la siguiente tabla.

**Tabla 3.6** Tarifa del costo en Bs. por kwh mensual proporcionada por SETAR.

<b>TARIFA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA CATEGORÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CIUDAD DE TARIJA EN Bs. KWH MENSUAL DESDE ABRIL 2014 - ABRIL 2015</b>	
<b>MES</b>	<b>Bs. KWH</b>
<b>ABRIL</b>	0,988
<b>MAYO</b>	0,989
<b>JUNIO</b>	0,991
<b>JULIO</b>	0,999
<b>AGOSTO</b>	1,007
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,012
<b>OCTUBRE</b>	1,012
<b>NOVIEMBRE</b>	1,018
<b>DICIEMBRE</b>	1,018
<b>ENERO</b>	1,023
<b>FEBRERO</b>	1,029
<b>MARZO</b>	1,036
<b>ABRIL</b>	1,038
<b>MEDIA</b>	1,012

Se adoptará como valor promedio 1,012 Bs. KWH mensual para el estudio, entonces lo que procede al estudio es transformar el consumo de energía eléctrica tomando como referencia los datos de consumo de energía de los semáforos, y así determinar el costo por cada cabezal del semáforo.

A lo cual también se realizará un análisis sobre costo económico, la variación y el ahorro efectivo, como así también se mostrará el comportamiento en la situación actual del sistema semafórico de la ciudad de Tarija.

### **3.6. Base de datos**

#### **3.6.1. Datos del comportamiento técnico**

##### **3.6.1.1. Planillas de aforo vehicular de colas**

Las planillas de aforo de colas se mostrarán en el capítulo de anexos A.

##### **3.6.1.2. Datos de luminosidad**

Los datos de luminosidad se mostrarán en el capítulo de anexos A.

#### **3.6.2. Datos del comportamiento ambiental (consumo de energía eléctrica)**

Los datos de consumo de energía eléctrica se muestran en el capítulo de anexos A.

### **3.7. Análisis y presentación de resultados**

Tanto el análisis como los resultados están presentados por cada intersección tanto los parámetros de aforo de colas, luminosidad, consumo de energía eléctrica y costo del consumo de energía eléctrica

**Tabla 3.7** Aforos promedios de Cola Antes – Cola Después en intersecciones de estudio que cuentan con semáforos convencionales.

<b>AFOROS PROMEDIOS DE VEHÍCULOS EN SEMÁFOROS CONVENCIONALES</b>			
<b>N°</b>	<b>INTERSECCIONES</b>	<b>COLA ANTES (veh)</b>	<b>COLA DESPUES (veh)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO (sube)	5	0
	AV. BELGRANO (baja)	6	0
	AV. ESPAÑA (sube)	6	1
	AV. ESPAÑA (baja)	4	0
<b>2</b>	AV. BELGRANO (sube)	6	1
	AV. BELGRANO (baja)	9	3
	AV. LA PAZ (sube)	5	0
	AV. LA PAZ (baja)	7	1
<b>3</b>	INGAVI	6	1
	O` CÓNOR	8	1
<b>4</b>	AV. POTOSÍ (sube)	8	2
	AV. POTOSÍ (baja)	11	4
	JUNÍN	8	3
<b>5</b>	MADRID	5	1
	MENDEZ	6	1
<b>6</b>	BOLIVAR	6	0
	MENDEZ	5	0
<b>7</b>	INGAVI	5	0
	SUIPACHA	5	0
<b>8</b>	BOLIVAR	5	0
	SUIPACHA	6	1
<b>9</b>	BOLIVAR	6	1
	COLON	8	2
<b>10</b>	BOLIVAR	8	4
	CAMPERO	11	7

**Tabla 3.8** Aforos promedios de Cola Antes – Cola Después en intersecciones de estudio que cuentan con semáforos LED.

<b>AFOROS PROMEDIO DE VEHÍCULOS EN SEMÁFOROS LED</b>			
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>COLA ANTES (veh)</b>	<b>COLA DESPUES (veh)</b>
<b>11</b>	15 DE ABRIL	7	1
	COLON	9	3
<b>12</b>	15 DE ABRIL	6	1
	DANIEL CAMPOS	6	0
<b>13</b>	15 DE ABRIL	6	0
	SUCRE	8	2
<b>14</b>	15 DE ABRIL	6	1
	GRAL. TRIGO	8	2
<b>15</b>	LA MADRID	5	0
	DANIEL CAMPOS	6	1
<b>16</b>	LA MADRID	6	0
	SUCRE	8	2
<b>17</b>	INGAVI	7	1
	COLON	8	2
<b>18</b>	INGAVI	8	2
	DANIEL CAMPOS	6	1
<b>19</b>	INGAVI	7	2
	SUCRE	8	2
<b>20</b>	BOLIVAR	10	4
	DANIEL CAMPOS	6	1
<b>21</b>	BOLIVAR	9	3
	SUCRE	7	2
<b>22</b>	BOLIVAR	8	2
	GRAL. TRIGO	5	0
<b>23</b>	DOMINGO PAZ	6	1
	DANIEL CAMPOS	5	0
<b>24</b>	DOMINGO PAZ	8	3
	SUCRE	5	0

25	DOMINGO PAZ	7	1
	GRAL. TRIGO	7	2
26	CORRADO	7	2
	SUCRE	4	0
27	CORRADO	9	3
	GRAL. TRIGO	6	1
28	COCHABAMBA (sube)	5	0
	COCHABAMBA (baja)	5	0
	COLON	6	1
29	COCHABAMBA (sube)	5	0
	COCHABAMBA (baja)	6	0
	DANIEL CAMPOS	4	0
30	COCHABAMBA (sube)	5	0
	COCHABAMBA (baja)	6	0
	SUCRE	4	0
31	COCHABAMBA (sube)	6	0
	COCHABAMBA (baja)	6	0
	GRAL. TRIGO	6	1
32	COCHABAMBA (sube)	8	1
	COCHABAMBA (baja)	5	0
	CAMPERO	6	1
33	COCHABAMBA (sube)	7	0
	COCHABAMBA (baja)	5	0
	BALLIVIAN	9	1
34	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	9	0
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	10	0
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	13	0
	ALTO DE LA ALIANZA	9	3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	3	0
35	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	20	2
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	18	0

	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	31	8
	AV. ESPAÑA (sube)	10	3
	AV. ESPAÑA (baja)	8	2
<b>36</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	12	2
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	15	1
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	13	1
	PADILLA (sube)	13	1
	PADILLA (baja)	7	0
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	4	0
<b>37</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	12	2
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	15	1
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	15	1
	SUCRE	11	1
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	10	2
<b>38</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	9	0
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	9	0
	15 DE ABRIL	10	1
	PANAMERICANA (baja)	11	2
	AV. INTEGRACIÓN	8	1
<b>39</b>	PANAMERICANA (sube)	7	0
	PANAMERICANA (baja)	9	0
	JAIME PAZ ZAMORA	13	2
	C/ POSTA	5	0
<b>40</b>	PANAMERICANA (sube)	11	1
	PANAMERICANA (baja)	10	0
<b>41</b>	PANAMERICANA (sube)	8	0
	PANAMERICANA (baja)	7	0
	COMERCIO	7	0
<b>42</b>	PANAMERICANA (sube)	7	0
	PANAMERICANA (baja)	10	0
	CIRCUNVALACIÓN (sube)	5	0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	6	0
<b>43</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	1
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	0

	FROILÁN TEJERINA (sube)	10	1
	FROILÁN TEJERINA (baja)	7	0
44	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	10	0
	MEJILLONES (sube)	5	0
	MEJILLONES (baja)	4	0
45	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	0
	GRAL. TRIGO	4	0
46	CIRCUNVALACIÓN (sube)	12	1
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	10	0
	COLON (sube)	5	0
	COLON (baja)	5	0
47	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	0
	SAN BERNARDO (sube)	3	0
	SAN BERNARDO (baja)	5	0
48	CIRCUNVALACIÓN (sube)	12	1
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	12	2
	AV. LA PAZ (sube)	5	0
	AV. LA PAZ (baja)	5	0
49	CIRCUNVALACIÓN (sube)	11	1
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	2
	GAMONEDA (sube)	9	2
	GAMONEDA (baja)	8	1
50	CIRCUNVALACIÓN (sube)	8	0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	7	0
	FONT	6	0

**Tabla 3.9** Resultados de eficiencia de los semáforos convencionales (normales) en vehículos y expresadas en porcentaje.

<b>EFFECTIVIDAD DE LOS SEMÁFOROS CONVENCIONALES</b>			
<b>Nº</b>	<b>INTERSECCIONES</b>	<b>EFFECTIVIDAD (veh)</b>	<b>EFFECTIVIDAD (%)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO (sube)	5	100,0
	AV. BELGRANO (baja)	6	100,0
	AV. ESPAÑA (sube)	5	83,3
	AV. ESPAÑA (baja)	4	100,0
<b>2</b>	AV. BELGRANO (sube)	5	83,3
	AV. BELGRANO (baja)	6	66,7
	AV. LA PAZ (sube)	5	100,0
	AV. LA PAZ (baja)	6	85,7
<b>3</b>	INGAVI	5	83,3
	O` CÓNOR	7	87,5
<b>4</b>	AV. POTOSÍ (sube)	6	75,0
	AV. POTOSÍ (baja)	7	63,6
	JUNÍN	5	62,5
<b>5</b>	MADRID	4	80,0
	MENDEZ	5	83,3
<b>6</b>	BOLIVAR	6	100,0
	MENDEZ	5	100,0
<b>7</b>	INGAVI	5	100,0
	SUIPACHA	5	100,0
<b>8</b>	BOLIVAR	5	100,0
	SUIPACHA	5	83,3
<b>9</b>	BOLIVAR	5	83,3
	COLON	6	75,0
<b>10</b>	BOLIVAR	4	50,0
	CAMPERO	4	36,4

**Tabla 3.10** Resultados de eficiencia de los semáforos LED en vehículos y expresadas en porcentaje.

<b>EFFECTIVIDAD DE LOS SEMÁFOROS LED</b>			
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>EFFECTIVIDAD (veh)</b>	<b>EFFECTIVIDAD (%)</b>
<b>11</b>	15 DE ABRIL	6	85,7
	COLON	6	66,7
<b>12</b>	15 DE ABRIL	5	83,3
	DANIEL CAMPOS	6	100,0
<b>13</b>	15 DE ABRIL	6	100,0
	SUCRE	6	75,0
<b>14</b>	15 DE ABRIL	5	83,3
	GRAL. TRIGO	6	75,0
<b>15</b>	LA MADRID	5	100,0
	DANIEL CAMPOS	5	83,3
<b>16</b>	LA MADRID	6	100,0
	SUCRE	6	75,0
<b>17</b>	INGAVI	6	85,7
	COLON	6	75,0
<b>18</b>	INGAVI	6	75,0
	DANIEL CAMPOS	5	83,3
<b>19</b>	INGAVI	5	71,4
	SUCRE	6	75,0
<b>20</b>	BOLIVAR	6	60,0
	DANIEL CAMPOS	5	83,3
<b>21</b>	BOLIVAR	6	66,7
	SUCRE	5	71,4
<b>22</b>	BOLIVAR	6	75,0
	GRAL. TRIGO	5	100,0
<b>23</b>	DOMINGO PAZ	5	83,3
	DANIEL CAMPOS	5	100,0
<b>24</b>	DOMINGO PAZ	5	62,5

	SUCRE	5	100,0
25	DOMINGO PAZ	6	85,7
	GRAL. TRIGO	5	71,4
26	CORRADO	5	71,4
	SUCRE	4	100,0
27	CORRADO	6	66,7
	GRAL. TRIGO	5	83,3
28	COCHABAMBA (sube)	5	100,0
	COCHABAMBA (baja)	5	100,0
	COLON	5	83,3
29	COCHABAMBA (sube)	5	100,0
	COCHABAMBA (baja)	6	100,0
	DANIEL CAMPOS	4	100,0
30	COCHABAMBA (sube)	5	100,0
	COCHABAMBA (baja)	6	100,0
	SUCRE	4	100,0
31	COCHABAMBA (sube)	6	100,0
	COCHABAMBA (baja)	6	100,0
	GRAL. TRIGO	5	83,3
32	COCHABAMBA (sube)	7	87,5
	COCHABAMBA (baja)	5	100,0
	CAMPERO	5	83,3
33	COCHABAMBA (sube)	7	100,0
	COCHABAMBA (baja)	5	100,0
	BALLIVIAN	8	88,9
34	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	9	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	10	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	13	100,0
	ALTO DE LA ALIANZA	6	66,7
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	3	100,0
35	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	18	90,0

	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	18	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	23	74,2
	AV. ESPAÑA (sube)	7	70,0
	AV. ESPAÑA (baja)	6	75,0
<b>36</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	10	83,3
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	14	93,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	12	92,3
	PADILLA (sube)	12	92,3
	PADILLA (baja)	7	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	4	100,0
<b>37</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	10	83,3
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	14	93,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	14	93,3
	SUCRE	10	90,9
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	8	80,0
<b>38</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	9	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	9	100,0
	15 DE ABRIL	9	90,0
	PANAMERICANA (baja)	9	81,8
	AV. INTEGRACIÓN	7	87,5
<b>39</b>	PANAMERICANA (sube)	7	100,0
	PANAMERICANA (baja)	9	100,0
	JAIME PAZ ZAMORA	11	84,6
	C/ POSTA	5	100,0
<b>40</b>	PANAMERICANA (sube)	10	90,9
	PANAMERICANA (baja)	10	100,0
<b>41</b>	PANAMERICANA (sube)	8	100,0
	PANAMERICANA (baja)	7	100,0
	COMERCIO	7	100,0
<b>42</b>	PANAMERICANA (sube)	7	100,0
	PANAMERICANA (baja)	10	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (sube)	5	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	6	100,0
<b>43</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	9	90,0

	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	100,0
	FROILÁN TEJERINA (sube)	9	90,0
	FROILÁN TEJERINA (baja)	7	100,0
<b>44</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	10	100,0
	MEJILLONES (sube)	5	100,0
	MEJILLONES (baja)	4	100,0
<b>45</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	100,0
	GRAL. TRIGO	4	100,0
<b>46</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	11	91,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	10	100,0
	COLON (sube)	5	100,0
	COLON (baja)	5	100,0
<b>47</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	11	100,0
	SAN BERNARDO (sube)	3	100,0
	SAN BERNARDO (baja)	5	100,0
<b>48</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	11	91,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	10	83,3
	AV. LA PAZ (sube)	5	100,0
	AV. LA PAZ (baja)	5	100,0
<b>49</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	10	90,9
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	9	81,8
	GAMONEDA (sube)	7	77,8
	GAMONEDA (baja)	7	87,5
<b>50</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	8	100,0
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	7	100,0
	FONT	6	100,0

### **3.7.1. Análisis de eficiencia de semáforos convencionales (normales)**

En intersecciones que cuenta con dos accesos con semáforos convencionales, se muestra la peor eficiencia que es del 36,4%, se identifica también que se presenta la circulación más frecuente de vehículos es de 4 – 5 vehículos por accesos.

En intersecciones que cuentan con 3 accesos la menor eficiencia se denota que es del 62,5% y una eficiencia mayor que es del 75%.

En intersecciones de 4 accesos la menor efectividad se identifica que es de 66,7%, denotando una frecuencia de circulación de 5-6 vehículos por accesos.

### **3.7.2. Análisis de eficiencia de semáforos LED**

Se identifica que la menor eficiencia en intersecciones que cuentan con semáforo LED en dos accesos es de 60,0%, registrando que circulan con mayor frecuencia una cantidad de 6 vehículos.

En intersecciones que cuentan con 3 accesos se muestra que en sus avenidas principales están funcionando a un 100%, debido a que los vehículos que realizaron la cola cuando el semáforo estaba en fase roja, lograron circular cuando este cambio a fase verde, pero en sus accesos secundarios se muestra una eficiencia menor de 83,3%.

En intersecciones que cuentan con 4 accesos se muestran efectividades mayor a 77,8%.

En intersecciones tipo rotondas en general indica que en sus avenidas principales indican efectividad mayor a 74,2%, mientras que en sus accesos secundarios indican 66,7 de efectividad.

**Tabla 3.11** Cantidad de flujo luminoso en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos convencionales (normales).

<b>FLUJO LUMINOSO SEMÁFOROS CONVENCIONALES</b>			
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>FLUJO LUMINOSO (lumen)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	23
	AV. BELGRANO (baja)	200	23
	AV. ESPAÑA (sube)	200	23
	AV. ESPAÑA (baja)	200	23
<b>2</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	23
	AV. BELGRANO (baja)	200	23
	AV. LA PAZ (sube)	200	23
	AV. LA PAZ (baja)	200	24
<b>3</b>	INGAVI	200	24
	O` CÓNOR	200	23
<b>4</b>	AV. POTOSÍ (sube)	200	24
	AV. POTOSÍ (baja)	200	24
	JUNÍN	200	24
<b>5</b>	MADRID	200	24
	MENDEZ	200	23
<b>6</b>	BOLIVAR	200	24
	MENDEZ	200	24
<b>7</b>	INGAVI	200	24
	SUIPACHA	200	24
<b>8</b>	BOLIVAR	200	23
	SUIPACHA	200	24
<b>9</b>	BOLIVAR	200	24
	COLON	200	24
<b>10</b>	BOLIVAR	200	23
	CAMPERO	200	23

**Tabla 3.12** Cantidad de flujo luminoso en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos LED.

<b>FLUJO LUMINOSO SEMÁFOROS LED</b>			
<b>N°</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>FLUJO LUMINOSO (lumen)</b>
<b>11</b>	15 DE ABRIL	200	35
	COLON	200	35
<b>12</b>	15 DE ABRIL	200	37
	DANIEL CAMPOS	200	38
<b>13</b>	15 DE ABRIL	200	39
	SUCRE	200	38
<b>14</b>	15 DE ABRIL	200	37
	GRAL. TRIGO	200	36
<b>15</b>	LA MADRID	200	38
	DANIEL CAMPOS	200	39
<b>16</b>	LA MADRID	200	34
	SUCRE	200	35
<b>17</b>	INGAVI	200	36
	COLON	200	37
<b>18</b>	INGAVI	200	36
	DANIEL CAMPOS	200	35
<b>19</b>	INGAVI	200	35
	SUCRE	200	35
<b>20</b>	BOLIVAR	200	36
	DANIEL CAMPOS	200	35
<b>21</b>	BOLIVAR	200	34
	SUCRE	200	35
<b>22</b>	BOLIVAR	200	35
	GRAL. TRIGO	200	35
<b>23</b>	DOMINGO PAZ	200	35
	DANIEL CAMPOS	200	35
<b>24</b>	DOMINGO PAZ	200	35

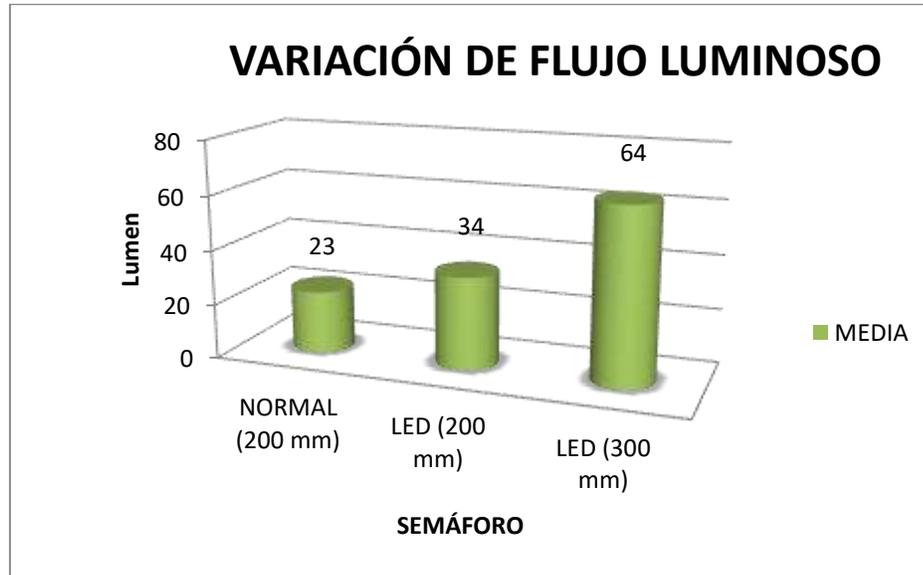
	SUCRE	200	36
25	DOMINGO PAZ	200	35
	GRAL. TRIGO	200	35
26	CORRADO	200	36
	SUCRE	200	36
27	CORRADO	200	35
	GRAL. TRIGO	200	35
28	COCHABAMBA (sube)	200	33
	COCHABAMBA (baja)	200	34
	COLON	200	33
29	COCHABAMBA (sube)	200	35
	COCHABAMBA (baja)	200	35
	DANIEL CAMPOS	200	34
30	COCHABAMBA (sube)	200	34
	COCHABAMBA (baja)	200	34
	SUCRE	200	33
31	COCHABAMBA (sube)	200	35
	COCHABAMBA (baja)	200	35
	GRAL. TRIGO	200	34
32	COCHABAMBA (sube)	200	36
	COCHABAMBA (baja)	200	36
	CAMPERO	200	35
33	COCHABAMBA (sube)	200	35
	COCHABAMBA (baja)	200	34
	BALLIVIAN	200	34
34	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	66
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	65
	ALTO DE LA ALIANZA	300	66
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	65

<b>35</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	66
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	66
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	65
	AV. ESPAÑA (sube)	300	66
	AV. ESPAÑA (baja)	300	66
<b>36</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	66
	PADILLA (sube)	300	66
	PADILLA (baja)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	66
<b>37</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	66
	SUCRE	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	65
<b>38</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	65
	15 DE ABRIL	300	65
	PANAMERICANA (baja)	300	65
	AV. INTEGRACIÓN	300	66
<b>39</b>	PANAMERICANA (sube)	300	64
	PANAMERICANA (baja)	300	65
	JAIME PAZ ZAMORA	300	65
	C/ POSTA	300	66
<b>40</b>	PANAMERICANA (sube)	300	66
	PANAMERICANA (baja)	300	66
<b>41</b>	PANAMERICANA (sube)	300	66
	PANAMERICANA (baja)	300	66
	COMERCIO	300	65
<b>42</b>	PANAMERICANA (sube)	300	65
	PANAMERICANA (baja)	300	64
	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	65
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	66

<b>43</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	66
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	66
	FROILÁN TEJERINA (sube)	300	65
	FROILÁN TEJERINA (baja)	300	65
<b>44</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	33
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	33
	MEJILLONES (sube)	200	32
	MEJILLONES (baja)	200	33
<b>45</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	34
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	33
	GRAL. TRIGO	200	33
<b>46</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	33
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	34
	COLON (sube)	200	34
	COLON (baja)	200	33
<b>47</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	34
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	34
	SAN BERNARDO (sube)	200	33
	SAN BERNARDO (baja)	200	33
<b>48</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	34
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	33
	AV. LA PAZ (sube)	200	34
	AV. LA PAZ (baja)	200	34
<b>49</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	34
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	34
	GAMONEDA (sube)	200	34
	GAMONEDA (baja)	200	33
<b>50</b>	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	34
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	34
	FONT	200	33

### 3.7.3. Análisis de la variación de flujo luminoso

**Figura 3.21** Variación de flujo luminoso

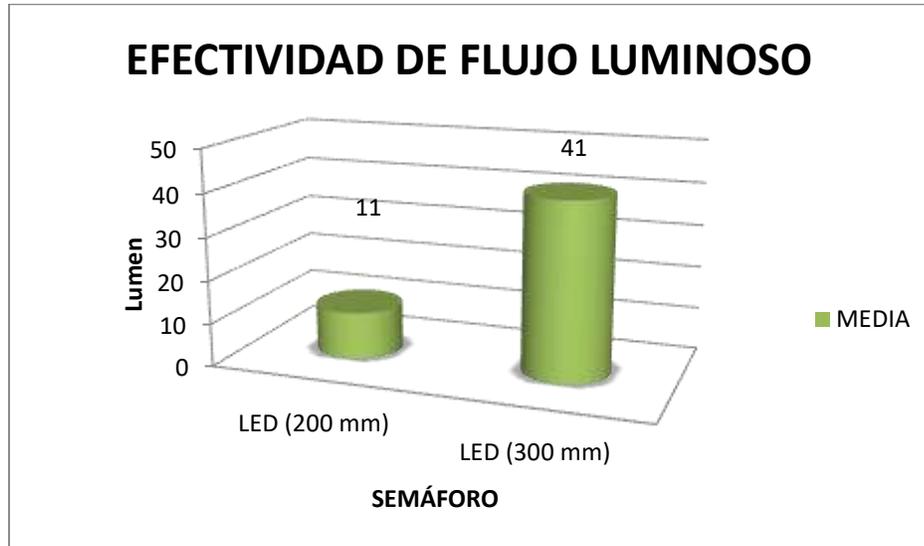


**Fuente:** Elaboración Propia.

El gráfico nos representa la variación de todo el estudio de iluminación mostrándonos que el semáforo LED de 300 mm emite mayor flujo luminoso de 64 lúmenes como promedio, mientras que el semáforo LED de 200 mm muestra mayor flujo luminoso de 34 lúmenes de promedio, respecto a los 23 lúmenes de promedio que emiten los semáforos convencionales (normales) de 200 mm.

### 3.7.4. Análisis de la efectividad de flujo luminoso

Figura 3.22 Efectividad de flujo luminoso



**Fuente:** Elaboración Propia.

El estudio de iluminación nos muestra en el gráfico, que el semáforo LED nos da mayor eficiencia en cuanto a la iluminación ya que emite un flujo luminoso de 41 lúmenes el semáforo LED de 300 mm y 11 lúmenes el semáforo LED de 200 mm como promedio más que el semáforo normal, proporcionándonos un 32% más de luminosidad que el semáforo normal de 200 mm y un 64% en relación al semáforo LED de 300 mm.

**Tabla 3.13** Consumo de energía eléctrica en kwh mensuales en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos convencionales (normales).

<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA KWH (MES) SEMÁFOROS CONVENCIONALES</b>			
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>CONSUMO DE ENERGÍA KWH (MES)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	12,7
	AV. BELGRANO (baja)	200	12,7
	AV. ESPAÑA (sube)	200	12,7
	AV. ESPAÑA (baja)	200	12,7
<b>2</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	12,7
	AV. BELGRANO (baja)	200	12,7
	AV. LA PAZ (sube)	200	12,7
	AV. LA PAZ (baja)	200	12,7
<b>3</b>	INGAVI	200	11,8
	O` CÓNOR	200	11,8
<b>4</b>	AV. POTOSÍ (sube)	200	11,8
	AV. POTOSÍ (baja)	200	11,8
	JUNÍN	200	11,8
<b>5</b>	MADRID	200	11,8
	MENDEZ	200	11,8
<b>6</b>	BOLIVAR	200	11,8
	MENDEZ	200	11,8
<b>7</b>	INGAVI	200	11,8
	SUIPACHA	200	11,8
<b>8</b>	BOLIVAR	200	11,8
	SUIPACHA	200	11,8
<b>9</b>	BOLIVAR	200	11,8
	COLON	200	11,8
<b>10</b>	BOLIVAR	200	12,9
	CAMPERO	200	12,9

**Tabla 3.14** Consumo de energía eléctrica en kwh mensuales en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos LED.

<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA KWH (MES) SEMÁFOROS LED</b>			
<b>Nº</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>CONSUMO DE ENERGÍA KWH (MES)</b>
<b>11</b>	15 DE ABRIL	200	6,7
	COLON	200	6,7
<b>12</b>	15 DE ABRIL	200	6,7
	DANIEL CAMPOS	200	6,7
<b>13</b>	15 DE ABRIL	200	6,7
	SUCRE	200	6,7
<b>14</b>	15 DE ABRIL	200	6,7
	GRAL. TRIGO	200	6,7
<b>15</b>	LA MADRID	200	6,3
	DANIEL CAMPOS	200	6,3
<b>16</b>	LA MADRID	200	6,3
	SUCRE	200	6,3
<b>17</b>	INGAVI	200	7
	COLON	200	7
<b>18</b>	INGAVI	200	7,3
	DANIEL CAMPOS	200	7,3
<b>19</b>	INGAVI	200	7,3
	SUCRE	200	7,3
<b>20</b>	BOLIVAR	200	7,3
	DANIEL CAMPOS	200	7,3
<b>21</b>	BOLIVAR	200	7,3
	SUCRE	200	7,3
<b>22</b>	BOLIVAR	200	7,3
	GRAL. TRIGO	200	7,3
<b>23</b>	DOMINGO PAZ	200	7,3
	DANIEL CAMPOS	200	7,3

24	DOMINGO PAZ	200	6,3
	SUCRE	200	6,3
25	DOMINGO PAZ	200	6,7
	GRAL. TRIGO	200	6,7
26	CORRADO	200	6,3
	SUCRE	200	6,3
27	CORRADO	200	5,7
	GRAL. TRIGO	200	5,7
28	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	COLON	200	6,7
29	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	DANIEL CAMPOS	200	6,7
30	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	SUCRE	200	6,7
31	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	GRAL. TRIGO	200	6,7
32	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	CAMPERO	200	6,7
33	COCHABAMBA (sube)	200	6,7
	COCHABAMBA (baja)	200	6,7
	BALLIVIAN	200	6,7
34	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,3
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,3
	ALTO DE LA ALIANZA	300	8,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	8,3

<b>35</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,3
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,3
	AV. ESPAÑA (sube)	300	8,3
	AV. ESPAÑA (baja)	300	8,3
<b>36</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,7
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,7
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,7
	PADILLA (sube)	300	8,7
	PADILLA (baja)	300	8,7
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	8,7
<b>37</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	6,3
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	6,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	6,3
	SUCRE	300	6,3
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	6,3
<b>38</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	7,8
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	7,8
	15 DE ABRIL	300	7,8
	PANAMERICANA (baja)	300	7,8
	AV. INTEGRACIÓN	300	7,8
<b>39</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6
	PANAMERICANA (baja)	300	6
	JAIME PAZ ZAMORA	300	6
	C/ POSTA	300	6
<b>40</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6,3
	PANAMERICANA (baja)	300	6,3
<b>41</b>	PANAMERICANA (sube)	300	7,5
	PANAMERICANA (baja)	300	7,5
	COMERCIO	300	7,5
<b>42</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6,3
	PANAMERICANA (baja)	300	6,3
	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	6,3
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	6,3

43	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	8,2
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	8,2
	FROILÁN TEJERINA (sube)	300	8,2
	FROILÁN TEJERINA (baja)	300	8,2
44	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	7,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	7,7
	MEJILLONES (sube)	200	7,7
	MEJILLONES (baja)	200	7,7
45	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,3
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,3
	GRAL. TRIGO	200	6,3
46	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	8,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	8,7
	COLON (sube)	200	8,7
	COLON (baja)	200	8,7
47	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,7
	SAN BERNARDO (sube)	200	6,7
	SAN BERNARDO (baja)	200	6,7
48	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6
	AV. LA PAZ (sube)	200	6
	AV. LA PAZ (baja)	200	6
49	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	5,3
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	5,3
	GAMONEDA (sube)	200	5,3
	GAMONEDA (baja)	200	5,3
50	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,7
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,7
	FONT	200	6,7

**Tabla 3.15** Costo de consumo de energía eléctrica en Bs. kwh mensuales en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos convencionales (normales).

<b>COSTO CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Bs. KWH (MES) SEMÁFOROS CONVENCIONALES</b>			
<b>N°</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>COSTO CONSUMO DE ENERGÍA Bs. KWH (MES)</b>
<b>1</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	12,85
	AV. BELGRANO (baja)	200	12,85
	AV. ESPAÑA (sube)	200	12,85
	AV. ESPAÑA (baja)	200	12,85
<b>2</b>	AV. BELGRANO (sube)	200	12,85
	AV. BELGRANO (baja)	200	12,85
	AV. LA PAZ (sube)	200	12,85
	AV. LA PAZ (baja)	200	12,85
<b>3</b>	INGAVI	200	11,94
	O` CÓNOR	200	11,94
<b>4</b>	AV. POTOSÍ (sube)	200	11,94
	AV. POTOSÍ (baja)	200	11,94
	JUNÍN	200	11,94
<b>5</b>	MADRID	200	11,94
	MENDEZ	200	11,94
<b>6</b>	BOLIVAR	200	11,94
	MENDEZ	200	11,94
<b>7</b>	INGAVI	200	11,94
	SUIPACHA	200	11,94
<b>8</b>	BOLIVAR	200	11,94
	SUIPACHA	200	11,94
<b>9</b>	BOLIVAR	200	11,94
	COLON	200	11,94
<b>10</b>	BOLIVAR	200	13,05
	CAMPERO	200	13,05

**Tabla 3.16** Costo de consumo de energía eléctrica en Bs. kwh mensuales en las intersecciones de estudio que cuentan con semáforos LED.

<b>COSTO CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA KWH (MES) SEMÁFOROS LED</b>			
<b>N°</b>	<b>ACCESOS</b>	<b>ÁREA (mm)</b>	<b>COSTO CONSUMO DE ENERGÍA Bs. KWH (MES)</b>
<b>11</b>	15 DE ABRIL	200	6,70
	COLON	200	6,70
<b>12</b>	15 DE ABRIL	200	6,70
	DANIEL CAMPOS	200	6,70
<b>13</b>	15 DE ABRIL	200	6,70
	SUCRE	200	6,70
<b>14</b>	15 DE ABRIL	200	6,70
	GRAL. TRIGO	200	6,70
<b>15</b>	LA MADRID	200	6,30
	DANIEL CAMPOS	200	6,30
<b>16</b>	LA MADRID	200	6,30
	SUCRE	200	6,30
<b>17</b>	INGAVI	200	7,00
	COLON	200	7,00
<b>18</b>	INGAVI	200	7,30
	DANIEL CAMPOS	200	7,30
<b>19</b>	INGAVI	200	7,30
	SUCRE	200	7,30
<b>20</b>	BOLIVAR	200	7,30
	DANIEL CAMPOS	200	7,30
<b>21</b>	BOLIVAR	200	7,30
	SUCRE	200	7,30
<b>22</b>	BOLIVAR	200	7,30
	GRAL. TRIGO	200	7,30
<b>23</b>	DOMINGO PAZ	200	7,30
	DANIEL CAMPOS	200	7,30

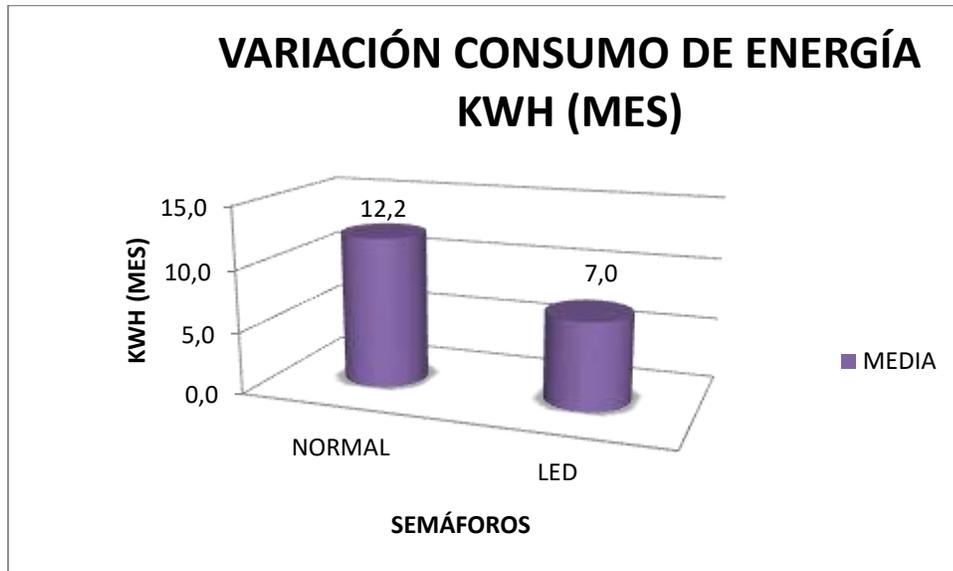
24	DOMINGO PAZ	200	6,30
	SUCRE	200	6,30
25	DOMINGO PAZ	200	6,70
	GRAL. TRIGO	200	6,70
26	CORRADO	200	6,30
	SUCRE	200	6,30
27	CORRADO	200	5,70
	GRAL. TRIGO	200	5,70
28	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	COLON	200	6,70
29	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	DANIEL CAMPOS	200	6,70
30	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	SUCRE	200	6,70
31	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	GRAL. TRIGO	200	6,70
32	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	CAMPERO	200	6,70
33	COCHABAMBA (sube)	200	6,70
	COCHABAMBA (baja)	200	6,70
	BALLIVIAN	200	6,70
34	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,30
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,30
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,30
	ALTO DE LA ALIANZA	300	8,30
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	8,30

<b>35</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,30
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,30
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,30
	AV. ESPAÑA (sube)	300	8,30
	AV. ESPAÑA (baja)	300	8,30
<b>36</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	8,70
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	8,70
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	8,70
	PADILLA (sube)	300	8,70
	PADILLA (baja)	300	8,70
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	8,70
<b>37</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	6,30
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	6,30
	JAIME PAZ ZAMORA (baja)	300	6,30
	SUCRE	300	6,30
	JAIME PAZ ZAMORA (baja 2)	300	6,30
<b>38</b>	JAIME PAZ ZAMORA (sube)	300	7,80
	JAIME PAZ ZAMORA (medio)	300	7,80
	15 DE ABRIL	300	7,80
	PANAMERICANA (baja)	300	7,80
	AV. INTEGRACIÓN	300	7,80
<b>39</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6,00
	PANAMERICANA (baja)	300	6,00
	JAIME PAZ ZAMORA	300	6,00
	C/ POSTA	300	6,00
<b>40</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6,30
	PANAMERICANA (baja)	300	6,30
<b>41</b>	PANAMERICANA (sube)	300	7,50
	PANAMERICANA (baja)	300	7,50
	COMERCIO	300	7,50
<b>42</b>	PANAMERICANA (sube)	300	6,30
	PANAMERICANA (baja)	300	6,30
	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	6,30
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	6,30

43	CIRCUNVALACIÓN (sube)	300	8,20
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	300	8,20
	FROILÁN TEJERINA (sube)	300	8,20
	FROILÁN TEJERINA (baja)	300	8,20
44	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	7,70
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	7,70
	MEJILLONES (sube)	200	7,70
	MEJILLONES (baja)	200	7,70
45	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,30
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,30
	GRAL. TRIGO	200	6,30
46	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	8,70
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	8,70
	COLON (sube)	200	8,70
	COLON (baja)	200	8,70
47	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,70
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,70
	SAN BERNARDO (sube)	200	6,70
	SAN BERNARDO (baja)	200	6,70
48	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,00
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,00
	AV. LA PAZ (sube)	200	6,00
	AV. LA PAZ (baja)	200	6,00
49	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	5,30
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	5,30
	GAMONEDA (sube)	200	5,30
	GAMONEDA (baja)	200	5,30
50	CIRCUNVALACIÓN (sube)	200	6,70
	CIRCUNVALACIÓN (baja)	200	6,70
	FONT	200	6,70

### 3.7.5. Análisis de la variación del consumo de energía eléctrica

**Figura 3.23** Variación consumo de energía eléctrica

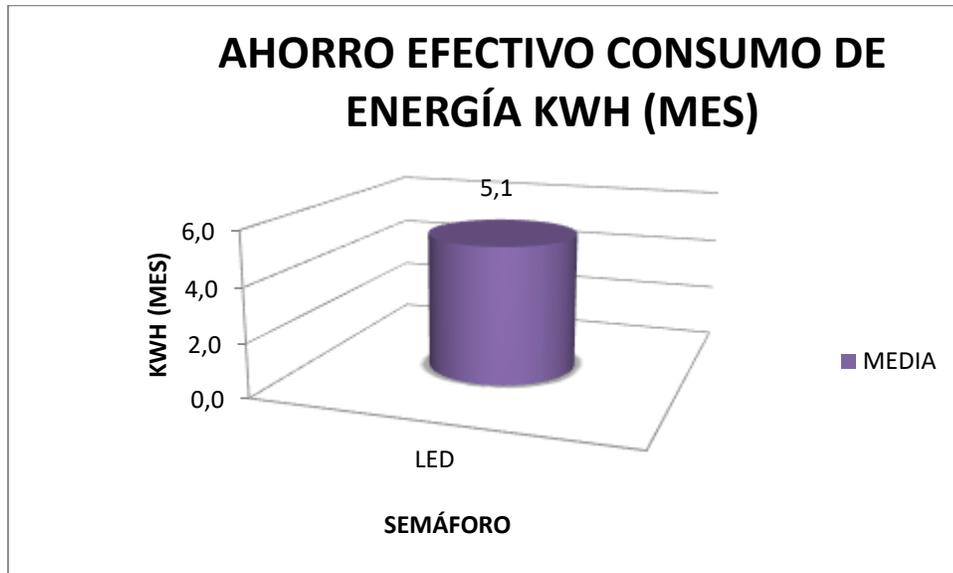


**Fuente:** Elaboración Propia.

El gráfico nos representa la variación de todo el estudio, donde nos muestra que los semáforos convencionales (normales) están consumiendo un promedio de 12,2 KWH mensual en relación a los 7 KWH de los semáforos LED.

### 3.7.6. Análisis del ahorro efectivo de consumo de energía eléctrica

**Figura 3.24** Ahorro efectivo consumo de energía eléctrica

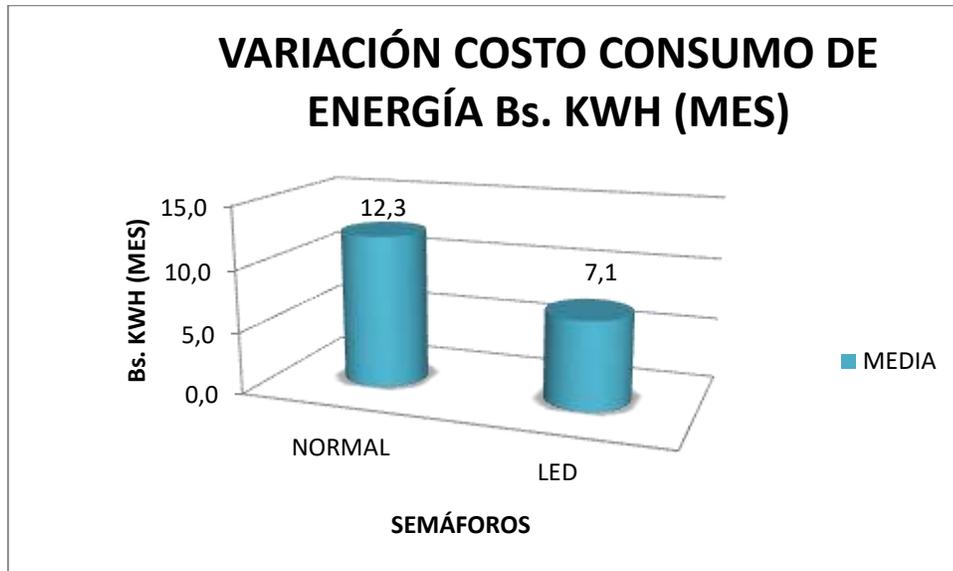


**Fuente:** Elaboración Propia.

El siguiente gráfico nos representa el ahorro efectivo de consumo de energía eléctrica en KWH mensual, donde indica que el semáforo LED nos ahorra 5,1 KWH mensual en relación al semáforo normal, denotando que el semáforo LED proporciona un 43 % de ahorro de consumo de energía eléctrica en relación al semáforo normal.

### 3.7.7. Análisis de la variación del costo del consumo de energía eléctrica

**Figura 3.25** Variación costo de consumo de energía eléctrica

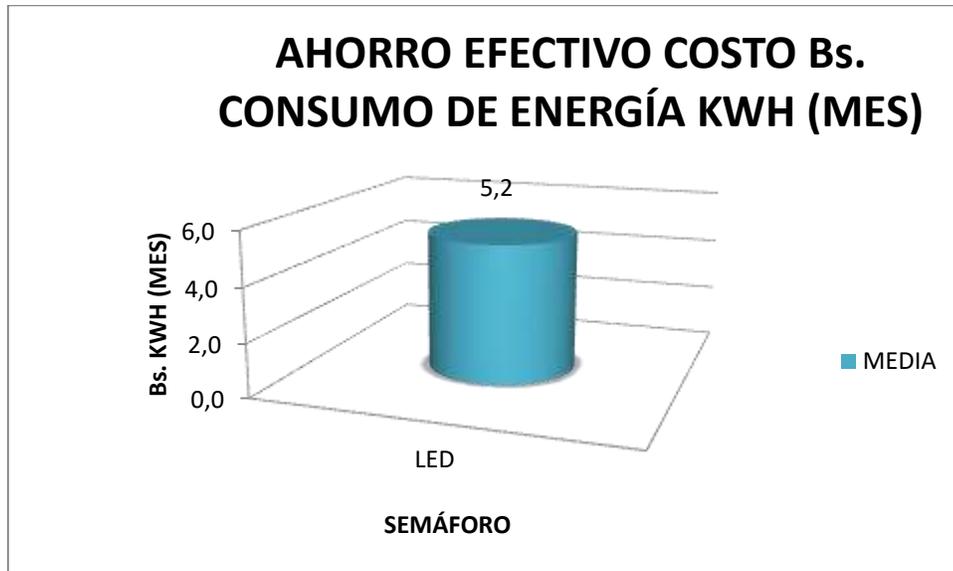


**Fuente:** Elaboración Propia.

El gráfico nos representa la variación de todo el estudio, donde nos muestra que los semáforos convencionales (normales) están generando un costo promedio de 12,3 Bs. KWH mensual en relación a los 7,1 Bs. KWH de los semáforos LED.

### 3.7.8. Análisis del ahorro efectivo del costo consumo de energía eléctrica

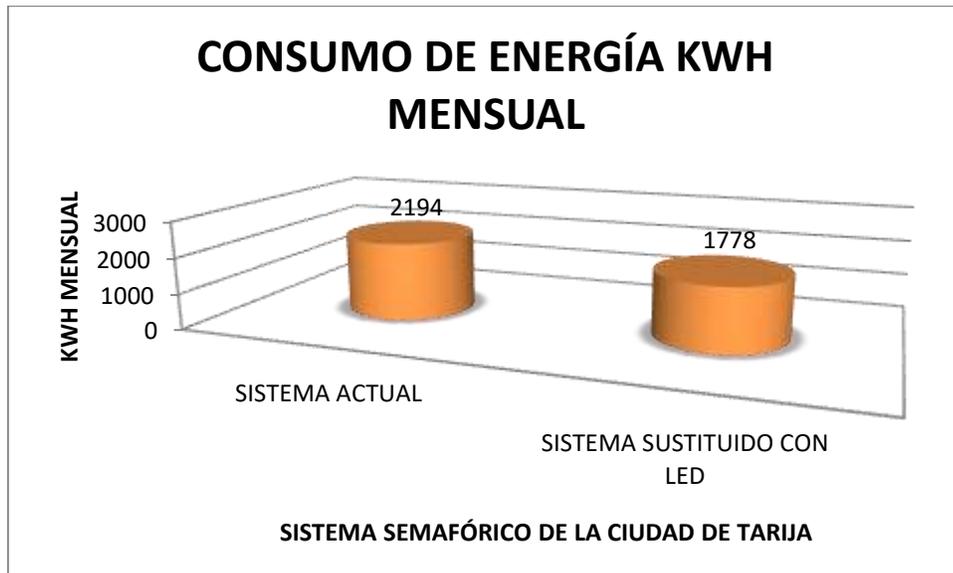
**Figura 3.26** Ahorro efectivo de costo de consumo de energía eléctrica



**Fuente:** Elaboración Propia.

El siguiente gráfico nos representa el ahorro efectivo del costo de consumo de energía eléctrica en Bs. KWH mensual, donde indica que el semáforo LED nos ahorra 5,2 Bs. KWH mensual en relación al semáforo normal, representando en un 42,3% el ahorro efectivo.

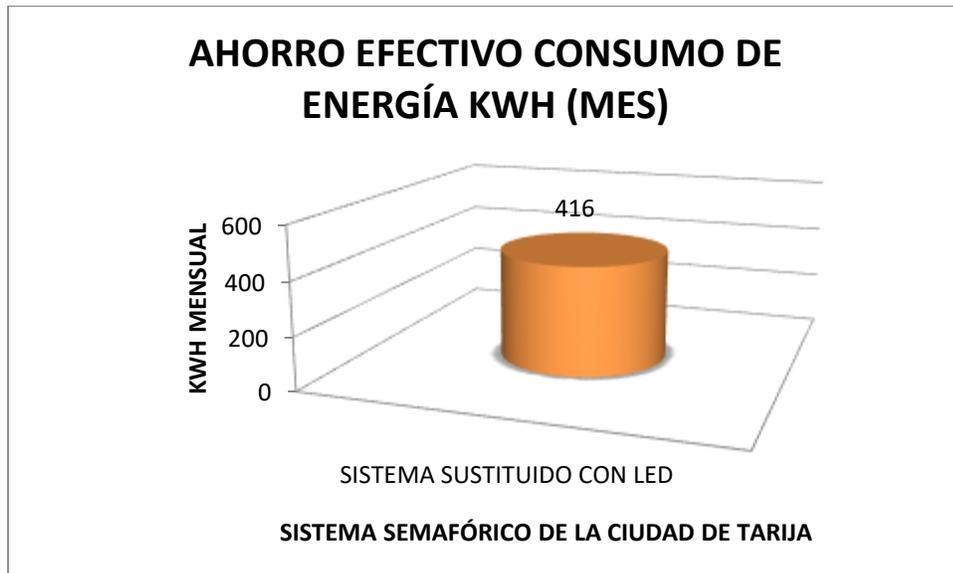
### 3.7.9. Análisis del consumo de energía eléctrica del sistema semafórico actual de la Ciudad de Tarija vs. Sistema semafórico sustituido por semáforos LED



EL gráfico nos muestra que el sistema semafórico actual está generando un consumo de energía eléctrica de 2149 kwh mensuales denotando que en el sistema actual están en funcionamiento 53 intersecciones con semáforos LED y 35 intersecciones con semáforos convencionales de los cuales se tienen 174 cabezales con óptica LED y 80 cabezales normales.

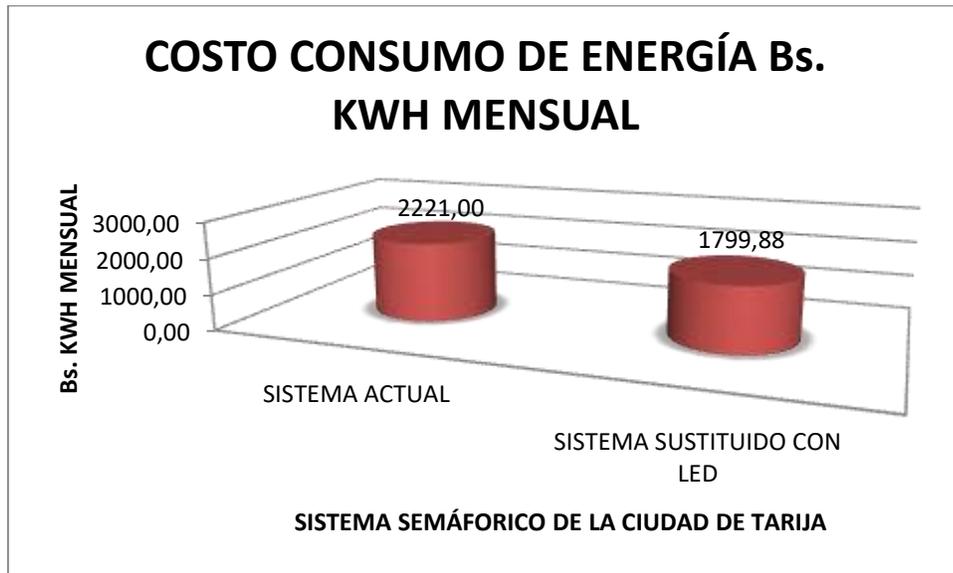
Mientras que si se sustituye los semáforos normales con semáforos de óptica LED se reducirá el consumo de energía eléctrica a 1778 kwh mensuales.

**3.7.10. Análisis del ahorro efectivo de consumo de energía si se sustituye los semáforos convencionales por los semáforos LED**



El gráfico del estudio realizado nos muestra que si se sustituye los semáforos convencionales (normales) por los semáforos de óptica LED se nos ahorra un consumo de energía eléctrica de 416 kwh mensuales

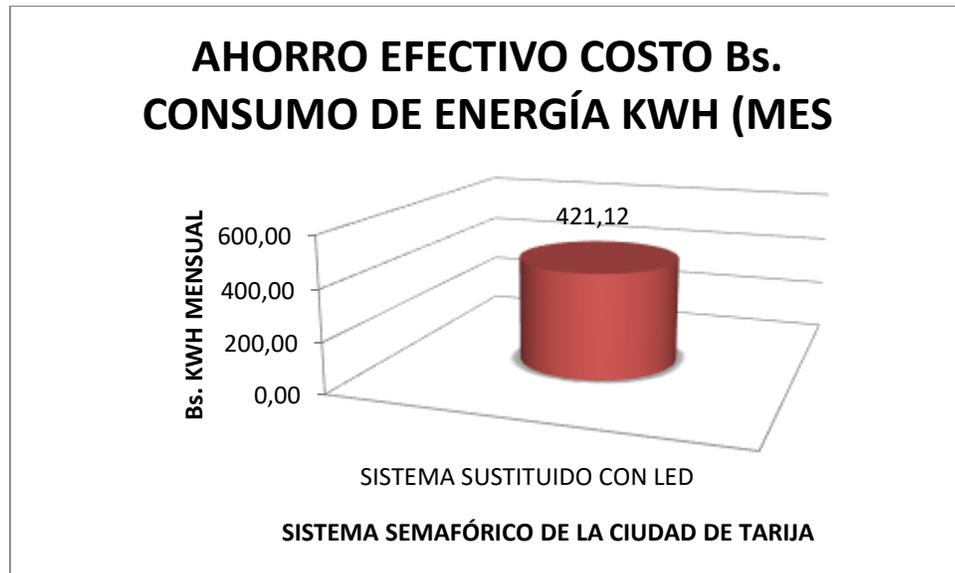
**3.7.11. Análisis del costo económico de consumo de energía eléctrica del sistema semafórico actual de la Ciudad de Tarija vs. Sistema semafórico sustituido por semáforos LED**



EL gráfico nos muestra que el sistema semafórico actual está realizando un costo económico de 2221,00 Bs. kwh mensuales.

Mientras que si se sustituye los semáforos normales con semáforos de óptica LED se reducirá el costo de consumo de energía eléctrica a 1799,88 Bs. kwh mensuales.

**3.7.12. Análisis del ahorro efectivo de costo consumo de energía si se sustituye los semáforos convencionales por los semáforos LED**



El gráfico nos indica un ahorro efectivo de 421,12 Bs. Kwh mensuales al sustituir los semáforos convencionales (normales) por los semáforos LED y consolidar en una sola tecnología el sistema semafórico de la ciudad de Tarija.

### 3.7.13. Características técnicas entre los semáforos LED y semáforos convencionales

**Tabla 3.17** Tabla comparativa de sistemas de semáforos

<b>TABLA COMPARATIVA DE SISTEMAS DE SEMÁFOROS</b>	
<b>Sistema tradicional (bombilla)</b>	<b>Nuevo sistema (diodos LED)</b>
Duración habitual: aprox. 6 meses.	Vida útil: 10 años.
Gran pérdida de luminosidad después de 5.000 horas.	Solo un 5% de pérdida de luminosidad después de 1 año (8.760 horas).
Señalación luminosa no uniforme.	Señalación luminosa uniforme.
Bajo contraste con la luz solar.	Alto contraste con la luz solar.
Problemas de visualización a distancia.	Mejor visibilidad a gran distancia.
Efecto "fantasma" a causa del reflejo de la luz solar en el reflector a través de la óptica.	Efecto "fantasma" inexistente (no hay reflector).
Cuando la bombilla se funde, el semáforo se apaga. La rotura del filamento puede causar un cortocircuito	Cada unidad utiliza varios diodos LED. Un diodo quemado solo representa una pérdida del 0.5% en la luminosidad
Cambio de las bombillas cada 6 meses. Alta sensibilidad a vibraciones	Reemplazo de la unidad a los 10 años. Baja sensibilidad a vibraciones e impactos

**Fuente:** Elaboración Propia.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

El estudio de valorización de la implementación de semáforos LED en la ciudad de Tarija nos permite rescatar las siguientes conclusiones:

- Podemos concluir que desde el punto de vista técnico los semáforos LEDs son más eficientes que los semáforos convencionales, ya que en intersecciones con dos accesos, que se encuentra en la parte céntrica de la ciudad que cuentan con semáforos LED, se presenta las mayores efectividades que es de 6 vehículos; mientras que los semáforos convencionales tienen efectividad de entre 5-4 vehículos de efectividad, denotando una mayor eficiencia del semáforo LED de entre 17 – 33 %.
- En intersecciones que tienen tres accesos que comprende desde la AV. Cochabamba – Ballivián hasta la Av. Cochabamba y Colon que cuentan en sus accesos con semáforo LED indican una eficiencia del 100% a comparación de la Av.- Potosí – Junín que muestra una efectividad menor de 7 vehículos, dando una efectividad de 75% como máximo en sus accesos, mostrando que el semáforo LED nos proporciona una efectividad mayor de 25%.
- En intersecciones de cuatro accesos se ha presentado que la menor eficiencia en semáforos convencionales es de 66,7%, mientras que en intersecciones con semáforos LED indica eficiencia de 77,8%, dándonos mayor efectividad que el semáforo convencional de 11,1%.
- Las intersecciones tipo rotonda se muestra las mayores eficiencias, debiendo hacer notar que las rotondas cuentan con contadores regresivos, permitiendo que están tengan mayor efectividad debido a que el conductor del vehículo puede identificar qué actividad debe realizar, ya sea al momento de detenerse o al momento de avanzar, las intersecciones tipo rotondas, indica que posee

efectividades por arriba del 80 %, denotando que sus efectividades son de 9 - 14 vehículos en sus accesos principales y en sus accesos secundarios de 4 – 7 vehículos, mientras que la intersección N°35 se denota menor eficiencia debido a uno de sus accesos de ser de mayor longitud proporcionando una efectividad de 74,2%, mientras que en sus accesos secundarios presenta efectividad de 70,0% - 75,0%.

En resumen realizado estas comparaciones se determina que los semáforos LED son más eficientes en relación a los semáforos convencionales.

- Después de realizar varias mediciones en la parte técnica del semáforo en el aspecto de luminosidad, obtenemos que el semáforo LED nos proporciona un flujo luminoso mayor que el semáforo convencional, en un 32% y 64% en semáforos con área de 200 mm y 300 mm respectivamente, dándonos mayor visión, tanto para los peatones como los conductores de vehículos.
- En el aspecto ambiental referente al consumo de energía eléctrica, se ha determinado que el semáforo LED nos proporciona un ahorro de energía eléctrica en KWH mensual del 43 % en relación al semáforo convencional.
- Desde el punto de vista económico se ha concluido que el semáforo LED nos genera un mayor ahorro efectivo en costo Bs. KWH mensual del 42,3 % respecto al semáforo convencional (normal).
- Realizando el análisis a la fecha todo el sistema semafórico de la ciudad de Tarija, está generando un consumo de energía eléctrica de 2194 KWH mensual por lo cual se está invirtiendo un monto de 2221,00 Bs. KWH mensual.
- Se determinó que si sustituimos en el sistema semafórico de la ciudad de Tarija, aquellas intersecciones que cuentan con semáforos convencionales por los semáforos LED, nos estará ahorrando en consumo de energía 416 KWH mensual y por ende un costo de 421,12 Bs. KWH mensual.
- Los principales inconvenientes que existen en el sistema convencional son el desgaste de la pantalla reflectora y refractora (propios del uso), que genera

efecto de falso encendido (efecto fantasma), mala visibilidad a distancia, causantes de accidentes, el recambio constante de lámparas quemadas (no cumplen la vida útil).

- Con la utilización de un sistema LED en los semáforos en la ciudad de Tarija, se garantiza que el mismo funcionará sin problemas durante un período de 10 años como mínimo, con un mínimo mantenimiento, se eliminan los efectos de falso encendido y de mala visibilidad.
- En un periodo de 10 años en nuestra ciudad, nos permitirá un ahorro de dinero al reducir el mantenimiento a la mínima expresión, mejorar la señalización vial y obtener una mejor calidad de vida para los ciudadanos al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- El funcionamiento de los semáforos LED como los semáforos convencionales son realizados de la misma manera, pudiendo realizar los cambios necesarios si estos lo requieren, como cambio de tiempo de fases y ciclos, programación de uso de horas del sistema, apagado de los sistemas en días especiales como feriados o cualquier evento, desde una la central que se encuentra en el Almacén de Alumbrado Público del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija, que puede ser monitoreado por el técnico encargado o personal autorizado.
- El estudio realizado a los semáforos LED nos muestra que la mejor alternativa es la de sustituir los semáforos convencionales por estos semáforos LED y así consolidar en una sola tecnología la operación de las intersecciones de la Ciudad de Tarija, ya que este nos proporciona mayor seguridad vial, ventajas técnicas, económicas y ambientales.

#### **4.2.Recomendaciones**

Las recomendaciones que se aportan al estudio de Valorización de la Implementación de semáforos LED en la ciudad de Tarija son las siguientes:

- En cuanto al aforo de colas realizadas en intersecciones tipo rotondas, que se encuentran ubicadas en las avenidas Jaime Paz Zamora, A. Panamericana y Av. Circunvalación, que cuentan con más de 4 accesos por cada intersección, realizarlo como mínimo 2 personas para tener un mejor registro de aforo de colas.
- Para mejor registro y exactitud de datos tomados con el luxómetro, colocarlo de forma paralela al objeto de medición (ópticas del semáforo), de modo que el sensor de luminosidad señale hacia el objeto (lente del semáforo).
- Realizar diversos tipos de campañas de educación vial para concientizar a conductores y peatones que sigan las reglas de tránsito con el nuevo sistema LED.
- Sustituir los semáforos convencionales por los semáforos LED, ya que el uso de esta tecnología es muy eficiente; dándonos mayor confiabilidad y seguridad vial en las intersecciones de la ciudad.
- Tomar en cuenta el presente estudio, ya que un semáforo es el algo muy importante, las autoridades tomar conciencia que el semáforo convencional indica ciertas ineficacias que al ser sustituidas proporcionarían mayores beneficios como mayor luminosidad, mejor visibilidad, menor consumo de energía eléctrica, mayor vida útil, repercutiendo en ahorros económicos como de mantenimiento al reducir en gastos de lámparas incandescentes y demoras en periodos de mantenimiento en la ciudad de Tarija.
- En base al estudio realizado, se recomienda a las autoridades correspondientes encargadas en el tema, realice estudios futuros sobre semáforos LED y tratar este tema con mayor seriedad en nuestra ciudad, que se haga mediciones constantes de la luminosidad que emiten los semáforos ya que esto es muy

importante, ya que un semáforo de baja luminosidad que no se vea correctamente o inclusive señales apagadas, incrementa el riesgo de accidentes.