



**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE OBRAS CIVILES**

**“Estudio de implementación de control adaptativo con *software* Centracs en la UOCT
Araucanía”**

BENJAMÍN ALEJANDRO GÓMEZ LÓPEZ

2019



**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE OBRAS CIVILES**

**“Estudio de implementación de control adaptativo con *software* Centracs en la UOCT
Araucanía”**

**INFORME DE ACTIVIDAD DE TITULACIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

PROFESOR GUÍA : MAXIMILIANO EXEQUIEL LIZANA MALDONADO

BENJAMÍN ALEJANDRO GÓMEZ LÓPEZ

2019

**ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO CON *SOFTWARE*
CENTRACS EN LA UOCT ARAUCANÍA**

BENJAMÍN ALEJANDRO GÓMEZ LÓPEZ

COMISIÓN EXAMINADORA

MAXIMILIANO EXEQUIEL LIZANA MALDONADO

Profesor Guía

Lorena Katherine Ortiz Jerez

Académico Evaluador

Ivo Janos Fustos Toribio

Académico Evaluador

Calificación trabajo escrito :

Calificación examen :

Calificación final :

Dedicado a la memoria de mi madre, a todo aquel que la conoció y sabe que con esto se cumpliría uno de sus sueños. Dedicado a Dios, quien me acompañó en cada paso que he dado sin ella.

RESUMEN

El presente trabajo realiza un diagnóstico y una evaluación de la implementación de control adaptativo de tránsito en la ciudad de Temuco a través del *software* Centrats. Debido a la existencia de problemas crecientes en temas de transporte, se torna necesario optimizar el tránsito vehicular. Para esto hoy en día existen herramientas que permiten hacerlo en tiempo real, mediante la implementación de tecnología, y entre ellas se encuentra el control de tránsito.

El control adaptativo de tránsito consiste en un sistema que tiene la facultad de modificar los tiempos existentes en los semáforos, según las necesidades que presente la vía en tiempo real, a través de la captación de datos de flujo vehicular mediante sensores que permitan este proceso. El *software* de control de tránsito a utilizado fue Centrats, debido a que es el utilizado en la Unidad Operativa de Control de Tránsito, sede Araucanía. Se realizó un diagnóstico de los equipos con los que actualmente cuenta la UOCT, y la disposición espacial de estos, haciendo una verificación en terreno de la operación de estos además de monitorear el funcionamiento en el sistema de control de tránsito. Lo anterior se realizó con el fin de comprobar si con las condiciones actuales es posible que se mejore el actual control de tránsito, que corresponde a control fijo (tiempos de semáforos estáticos, solo con variaciones por períodos de día, no en tiempo real).

En general los resultados obtenidos consideran las alternativas disponibles para implementar mejoras en el control de tránsito. Se encuentran dos alternativas; la primera llamada Centrats Adaptive se descarta por existir muchas dificultades para su implementación, como la falta de sensores en un número importante de intersecciones y la necesidad de una licencia externa entre otros elementos aspectos. Por otro lado la segunda alternativa llamada Traffic Responsive no posee tantos requerimientos para ejecutarse, por lo que se opta por verificar que requerimientos tiene para implementar esta alternativa. Finalmente se revisan los componentes que existen y que pueden ser de utilidad, y se describen las modificaciones que deben existir para que el nuevo sistema opere de manera adecuada como lo son la reparación de equipos y la implementación de estos en posiciones adecuadas. Se concluye que en las condiciones actuales el control adaptativo no puede llevarse a cabo en la UOCT Araucanía debido a que faltan equipos que se encuentren en funcionamiento adecuado.

Índice de Contenidos

1.	Introducción.....	1
1.1.	Descripción del Problema.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo General.....	3
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	3
2.	Antecedentes Generales.....	3
2.1.	Información de la Empresa.....	3
2.1.1.	Funciones.....	3
2.1.2.	UOCT Región de la Araucanía.....	4
2.2.	Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).....	5
2.3.	Tipos de Control de Tráfico.....	5
2.4.	Elementos de Medición de Tráfico Vehicular.....	6
2.5.	Conceptos Ingeniería de Tránsito.....	7
3.	Metodología.....	8
3.1.	Estudiar las funcionalidades del <i>software</i> CENTRACS.....	8
3.2.	Analizar el funcionamiento actual de sensores inalámbricos disponibles en la UOCT Araucanía.....	8
3.3.	Proponer planes de control adaptativo utilizando los sensores disponibles en la UOCT Araucanía.....	9
3.4.	Determinar posiciones específicas para próximos sensores que permitan generar planes de control adaptativo.....	9
4.	Resultados.....	11
4.1.	Estudiar las funcionalidades del <i>software</i> Centracs.....	11
4.1.1.	Funcionamiento de Centracs.....	11
4.1.2.	Centracs Adaptive.....	12
4.1.3.	Traffic Responsive.....	14
4.1.4.	Alcances.....	15
4.1.5.	Traffic Responsive Requerimientos.....	15
4.2.	Analizar el funcionamiento actual de sensores inalámbricos disponibles en la UOCT Araucanía.....	19
4.2.1.	Tipos de sensores.....	19
4.2.2.	Diagnóstico de funcionamiento.....	24
4.2.3.	Definición de zona de trabajo.....	34
4.2.4.	Alcances.....	34
4.3.	Proponer planes de control adaptativo utilizando los sensores disponibles en la UOCT Araucanía.....	35

4.3.1.	Período a optimizar.....	35
4.3.2.	Flujos	36
4.3.3.	Programaciones iniciales y flujo de saturación	38
4.3.4.	Modelo.....	38
4.3.5.	Datos faltantes	40
4.3.6.	Alcances.....	41
4.4.	Posiciones ideales de sensores para planteamiento de TR.....	42
5.	Trabajo Complementario.....	41
5.1.	Sintonía Fina Red Centro.....	41
5.2.	Revisión de Diseño de Intersecciones	42
5.3.	Sintonía Fina Las Encinas-Mantúa	43
5.4.	Revisión AVB y EISTU	44
5.5.	Operación de sistema de Gestión de Tránsito.....	44
6.	Conclusiones.....	46
	Bibliografía.....	49
A.	Anexos.....	50

Índice de Tablas

Tabla 4.1 Equipos Proyectados en Aldunate con Balmaceda	26
Tabla 4.2 Equipos Proyectados en Montt con Bulnes	27
Tabla 4.3 Equipos Proyectados en Aldunate / O'Higgins.....	28
Tabla 4.4 Equipos Proyectados en San Martín / Prat	29
Tabla 4.5 Equipos Proyectados en San Martín / G. Mackenna	30
Tabla 4.6 Flujos Vehiculares Modelo.....	37
Tabla 4.7 Programaciones Iniciales.....	38
Tabla 4.8 Resultados Modelación Transyt	40
Tabla 4.9 Programaciones faltantes modeladas sin Transyt.....	41
Tabla 4.10 Intersección Caupolicán - San Martín datos actuales sin modelación	41
Tabla A.1 Listado Intersecciones Pertenecientes a Centracs	50
Tabla A.2 Listado de Intersecciones Red Centro B Balmaceda.....	51
Tabla A.3 Listado de Intersecciones Red 7 San Martín O'Higgins	51
Tabla A.4 Listado de Intersecciones Red Los Poetas.....	52
Tabla A.6 Listado de Intersecciones Red Caupolican Sur	52
Tabla A.7 Cálculo Asertividad O'Higgins – Aldunate	53
Tabla A.8 Cálculo Asertividad San Martín – Prat.....	54
Tabla A.9 Cálculo Asertividad San Martín - Gral. Mackenna	55
Tabla A.10 Cálculo Asertividad Montt – Bulnes	56
Tabla A.11 Cálculo Asertividad Balmaceda – Aldunate.....	57
Tabla A.12 Fotos Salida a Terreno.....	58

Índice de Figuras

Figura 2.1 Sensor Infrarrojo de Tráfico Vehicular (Fuente: lasemaforica.com)	6
Figura 2.2 Espira Inductiva para Flujo Vehicular (Fuente: exemys.com.ar)	7
Figura 2.3 Detector Magneto Resistivo Sensys (Fuente: Sensys Networks)	7
Figura 4.1 Esquema disposición equipos Sensys (Fuente: precisiontrafficsafety.com).....	20
Figura 4.2 Sensor Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)	21
Figura 4.3 Repetidor Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)	22
Figura 4.4 Access Point Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)	23
Figura 4.5 Tarjeta de Contacto Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)	24
Figura 4.6 Distribución sensores Sensys	25
Figura 4.7 Disposición equipos en Aldunate / Balmaceda.....	26
Figura 4.8 Disposición equipos en Montt / Bulnes	27
Figura 4.9 Disposición equipos en Aldunate / O'Higgins	28
Figura 4.10 Sensores Sensys implementados San Martín / Prat	29
Figura 4.11 Sensores Sensys implementados San Martín / G. Mackenna	30
Figura 4.12 Modelo Transyt eje San Martín.....	39
Figura 4.13 Distribución actual de sensores.....	42
Figura 4.14 Propuesta posición de sensores	43
Figura A.2 Tarjeta Contacto Montt -Bulnes.....	58
Figura A.3 Access Point Montt - Bulnes Acceso Montt	58
Figura A.4 Access Point Montt -Bulnes Acceso Bulnes.....	58
Figura A.5 Sensores Montt - Bulnes Acceso Bulnes.....	58
Figura A.6 Tarjeta de Contacto Prat - San Martín.....	58
Figura A.7 Access Point San Martín - Prat Acceso Prat	58

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1. Descripción del Problema

El desarrollo de las ciudades se ha acelerado y globalizado en los últimos años de manera explosiva, haciendo que el transporte sea una necesidad creciente y que precise de soluciones integrales y eficaces. El rápido crecimiento de la población en las zonas urbanas, la gran oferta automotriz, los bajos niveles de servicio del transporte público y las necesidades de movilización generan una gran cantidad de problemas de congestión vehicular, accidentes, contaminación y una serie de externalidades que decantan en una fuerte presión por una mayor oferta vial y sistemas de control de tránsito eficientes (Mayor y Cárdenas, 2000).

Como respuesta a lo anterior es que surgen los Sistemas Inteligentes de Transporte, o ITS (Intelligent Transportation Systems). El Parlamento Europeo, en su Directiva sobre ITS de 2009, definió estos sistemas como aplicaciones que sin incorporar la inteligencia propiamente tal, son capaces de brindar servicios sobre modos de transporte y tráfico, permitiendo gestionarlo y además que los usuarios se vinculen de manera coordinada (Tejada, 2012). Los avances en tecnología permiten incorporar elementos

Dentro de los ITS existen los sistemas de control de tránsito, que tienen por función principal gestionar los tiempos de los semáforos en función de las variables de tránsito disponibles para optimizar de la mejor manera posible el flujo vehicular. Esto con el paso del tiempo ha presentado variaciones dependiendo de la disponibilidad de información, pasando por programaciones con tiempos fijos en las distintas fases de semáforos, hasta la coordinación de grupos desde centrales que son capaces de recalcular los tiempos y fases de semáforos (Pedraza, Hernández y López, 2012).

De lo anterior se logran identificar dos tipos de control de tráfico: 1) Las estrategias de control fijo se llevan a cabo usando registros históricos de flujo y densidad vehicular, con los que se ajustan para periodos de tiempo largos donde dichos parámetros se asumen constantes. Lo anterior puede, entonces, resultar poco acertado en contextos con demandas de alta variabilidad o

con usual presencia de condiciones no convencionales. 2) El control adaptativo, donde se requieren datos de flujo vehicular en tiempo real en cada punto de la red. Esto complejiza la implementación de estos sistemas debido a que se debe contar con elementos que midan el tráfico de manera constante (Robles, Ñañez y Quijano, 2009).

Considerando lo anteriormente mencionado, actualmente Temuco se acerca hacia un colapso vial producto del aumento del parque automotriz y la carencia de infraestructura y medidas efectivas que mitiguen el severo atochamiento automotriz que se produce en los horarios punta (mundoautos, 2018). Ligado a esto Nelson Fierro, experto en Transporte y Tránsito, afirma que “de no tomarse medidas urgentes, Temuco se convertirá en los próximos cuatro años en una zona de caos vial donde la velocidad media del transporte público será menor a los diez kilómetros por hora y donde el trayecto desde la Avenida Alemania a la Feria Pinto perfectamente demoraría una hora en los horarios punta” (mundoautos, 2018). En vista de esto es que surge la posibilidad de mejorar dicha situación a través de elementos de control de tránsito.

En nuestro país, la institución encargada de que existan sistemas de control para la gestión del tráfico en las grandes ciudades es la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT). Actualmente esta entidad se encuentra en las regiones de Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins, Biobío, La Araucanía, Los Lagos y la Región Metropolitana, contando en cada una de ellas con distintos tipos de control. De las mencionadas, la Región Metropolitana cuenta con el sistema SCOOT, que ejerce un control dinámico de los semáforos generando con ello un funcionamiento muy efectivo. Para el caso de la Región de la Araucanía, esta cuenta con un sistema de control fijo a través del *software* CENTRACS (MINTRATEL, 2019).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la implementación del control adaptativo de tránsito, mediante la utilización del *software* CENTRACS, en la UOCT Araucanía.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las funcionalidades con las que cuenta el *software* CENTRACS que puedan implementarse para mejorar el actual control.
- Analizar el funcionamiento actual de sensores inalámbricos disponibles en la UOCT Araucanía.
- Proponer planes de control adaptativo utilizando los sensores disponibles en la UOCT Araucanía.
- Determinar posiciones específicas para próximos sensores que permitan generar planes de control adaptativo.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES GENERALES

2. Antecedentes Generales

A continuación se exponen elementos a tenerse en consideración en el desarrollo de la metodología y el plan de trabajo de la práctica realizada en la UOCT Araucanía por el estudiante.

2.1. Información de la Empresa

La Unidad Operativa de Control de Tránsito, UOCT, se dedica a optimizar la gestión de tránsito en las principales ciudades del país, a través de la administración y la operación de sistemas inteligentes de transporte y el mejoramiento de los sistemas de información a usuarios, para facilitar las condiciones de desplazamiento de las personas. (UOCT, 2019)

La UOCT administra y opera los sistemas de control de modo de optimizar permanentemente las condiciones de tránsito en las principales ciudades, así como de otros sistemas inteligentes de apoyo a la gestión de tránsito, como son los circuitos cerrados de televisión (para el monitoreo del tránsito y detección de incidentes), letreros de mensajería variable, estaciones de conteo automático de flujos vehiculares, entre otras herramientas (MINTRATEL, 2019). Las regiones que cuentan actualmente con UOCT son Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins, El Maule, Biobío, Ñuble, La Araucanía, Los Lagos, Los Ríos y la Región Metropolitana (MINTRATEL, 2019).

2.1.1. Funciones

A continuación se encuentran listadas las funciones principales que tiene la UOCT Araucanía (UOCT, 2019):

- Apoyo técnico a los Municipios, Serviu y Ministerio de Obras Públicas en materias de gestión de tránsito
- Autorización de nuevos semáforos
- Estudio y actualización de programaciones de semáforos
- Elaboración y/o revisión de proyectos de semaforización y rediseño geométrico
- Revisión de estudios de impacto sobre el sistema de transporte urbano

- Contraparte técnica de estudios básicos y proyectos de inversión
- Estudio de factibilidad técnico-económica de nuevos sistemas de control de tránsito
- Administración y operación del sistema de control de tránsito
- Administración y operación de los sistemas complementarios inteligentes de transporte: circuito cerrado de televisión, letreros de mensaje variable, red de estaciones de conteo de flujo vehicular, etc
- Supervisión de las tareas de mantenimiento del sistema de control y complementarios
- Control de fallas de equipos y redes de comunicación
- Tareas de soporte y de respaldo del sistema de control de tránsito
- Supervisión de las tareas de mantenimiento del sistema de control y complementarios
- Control y ejecución presupuestaria de gastos corrientes del Programa
- Control presupuestario de la adquisición de activos no financieros del Programa
- Control presupuestario de gastos de estudios y proyectos de inversión del Programa
- Adquisición y control de inventarios del Programa
- Administración y operación de noticias de tránsito, a través de redes sociales
- Supervisión de Proyectos de semaforización y de rediseño geométrico
- Certificación de equipos y elementos de semaforización
- Supervisión del cumplimiento de estándares en contratos municipales de mantenimiento de semáforos

2.1.2. UOCT Región de la Araucanía

La UOCT Araucanía es un Centro de Control de Tránsito ubicado en Temuco que controla 115 intersecciones semaforizadas y cuenta con 18 cámaras de televisión y un letrero de mensaje variable. Difunde información a través de la cuenta de Twitter: @UOCT_Temuco (UOCT, 2019). Se encuentra en funcionamiento desde el año 2013, con parte del equipo que actualmente forma parte de la Unidad.

Funcionarios

- Lorena Ortiz, Ingeniera Civil, Encargada UOCT Región de la Araucanía.

- Victor Salas, Ingeniero Civil Electrónico, Ingeniero de Estudios y Proyectos.
- Jaime Martínez, Técnico en Electricidad Industrial, Inspector Técnico de Obras.
- Hans Candia, Técnico en Mecánica Automotriz, Inspector Técnico de Obras.
- Nicolás Viveros, Ingeniero Civil, Operador Sala Control.
- Maria Victoria Valdebenito, Técnico en Trabajo Social, Secretaria.

2.2. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

El aumento del tráfico vehicular ha generado un aumento congestión en las ciudades del mundo. Debido a que la demanda de viajes aumenta más rápido que la capacidad vial, esta situación está lejos de acabarse, a menos que se implementen otro tipo de medidas como estrategias de gestión de tráfico. Dentro de esas estrategias se identifican los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Estos sistemas contemplan la aplicación de tecnologías en los sistemas de transporte, incluyendo la integración de funciones que brinden soluciones más eficientes en los problemas de transporte multimodal.

El aumento de este tipo de aplicaciones ha generado que se necesiten herramientas que colaboren con el diseño y la evaluación de estos sistemas. Estos modelos cada día cobran mayor fuerza en el control de tráfico debido a su gran versatilidad ya que permiten no solo evaluar los beneficios de un proyecto, sino también para generar escenarios, optimizar el control y predecir el comportamiento de la red a nivel operativo. Pueden proporcionar al ingeniero de tráfico una visión general del tráfico y la capacidad de evaluar los problemas actuales y proyectar posibles soluciones de inmediato (Adams y Yu, 2000).

2.3. Tipos de Control de Tráfico

Las estrategias de control de tráfico, como ya se ha mencionado, surgen en función de los problemas de tráfico actuales que aquejan a las ciudades. Esto ha generado un aumento en el interés por el desarrollo de modelos y estrategias de control que procuren el beneficio del transporte masivo y no incentivar el flujo indiscriminado de vehículos.

Estas estrategias, ya mencionadas anteriormente, pueden ser de tipo fijo o adaptativo, siendo las del tipo adaptativo, uno de los motivos de estudio. A diferencia del control fijo, las estrategias de control sensibles al tráfico ejecutan su lógica de actuación con base en mediciones de tráfico realizadas en tiempo real, en las entradas a las intersecciones. Es claro que para llevar a cabo estas mediciones es necesario contar con algún tipo de detectores de tráfico, que pueden variar desde los usuales bucles inductivos hasta tecnologías más sofisticadas de manejo de señales de video, entre otras. Al igual que en el caso de las estrategias de control con tiempos fijos, cabe hacer la diferenciación con base en el tipo de aproximación en términos de la interacción entre las intersecciones (Robles, Ñañez y Quijano, 2009).

2.4. Elementos de Medición de Tráfico Vehicular

Dentro de los elementos que se pueden identificar para la medición de tráfico vehicular podemos encontrar de distintos tipos. Uno de ellos corresponde a los sensores infrarrojos que permiten contabilizar flujo vehicular de manera adecuada bajo ciertas condiciones. Este sensor es un dispositivo capaz de medir la radiación infrarroja de los cuerpos en su campo de visión, imperceptible para visión humana pero no para estos aparatos electrónicos (Ruiz, 2010).



Figura 2.1 Sensor Infrarrojo de Tráfico Vehicular (Fuente: lasemaforica.com)

Por otro lado, existen sensores de flujo vehicular tipo espira inductiva. Estos son los más frecuentes debido a la baja mantención que requieren para cumplir su función principal. Esta corresponde a la detección de presencia vehicular por sobre la de conteo, la cual puede realizar pero con precisión reducida por la distribución de estos elementos.

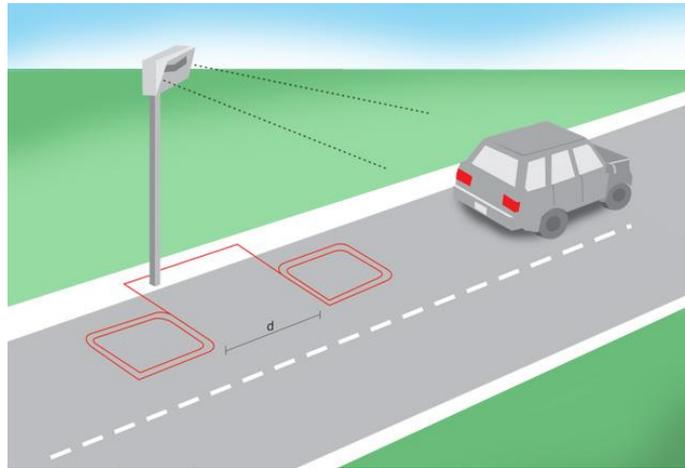


Figura 2.2 Espira Inductiva para Flujo Vehicular (Fuente: exemys.com.ar)

Finalmente otro tipo de sensor utilizado para el conteo de flujo vehicular son los magneto resistivos. Estos tienen la particularidad de ser inalámbricos, teniendo baterías para el funcionamiento, además de funcionar a través de una suma de equipos coordinados para permitir la captación y procesamiento de los datos.



Figura 2.3 Detector Magneto Resistivo Sensys (Fuente: Sensys Networks)

2.5. Conceptos Ingeniería de Tránsito

Dentro de la ingeniería de tránsito, más específicamente, en el estudio de semáforos deben manejarse ciertos conceptos básicos que se enumeran a continuación:

- Ciclo: Tiempo total en el que transcurren todas las fases de un semáforo.

- Fase: Tiempo destinado a que tenga prioridad uno de los accesos del semáforo.
- Etapa: Movimientos realizables dentro de la intersección
- Plan: Asignación de tiempos de fases y ciclo utilizado en cierto horario determinado, en estrategias de control fijo.
- Entreverde: Momento dentro de la fase semafórica que corresponde al período de cambio entre las fases. Puede ser peatonal o vehicular.
- Desfase: Corresponde al tiempo existente entre las distintas intersecciones que van en cierto orden secuencial y pertenecen a la misma.

2.6. Transyt

TRANSYT es un programa capaz de optimizar redes semaforizadas de tiempo fijo, simulando y optimizar una red construida por nodos e interconectados por arcos; y también es capaz de modelar intercesiones prioritarias. Su origen se remonta a Inglaterra el año 1969 y nace para optimizar de manera eficiente los semáforos, analizando los índices de rendimientos de las intersecciones, para así poder facilitar la toma de decisiones en casos como la realización de diseños nuevos o cambios en la modelación actual. La función objetivo con la que trabaja este software para minimizar los índice de rendimiento (Performance Index) o IR, consiste en una combinación lineal de Demoras y Detenciones. Dicha función es una sumatoria de variables de salida, las cuales se van alterando en base a tasas de crecimiento y decrecimiento de dicho índice. Es una iteración que busca minimizar al máximo este parámetro con el fin de buscar la combinación más óptima de la red (Frisius, 2014)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3. Metodología

La metodología desarrollada se basó principalmente en las actividades necesarias para cumplir los objetivos específicos enumerados en un comienzo.

3.1. Estudiar las funcionalidades del *software* CENTRACS

En primera instancia deben definirse los datos que emplea el *software* CENTRACS para desarrollar el control de tránsito. Estos tienen que ver principalmente con el tipo de datos de entrada y salida que este soporta para realizar el análisis que permite optimizar el tráfico vehicular. Esta información se obtiene a través del estudio documental de manuales de funcionamiento del *software*, complementado con tutoriales de uso de este en distintas de sus áreas funcionales. La información respectiva a los datos de entrada necesarios cobra relevancia al momento de establecer las estrategias requeridas para generar planes de control adaptativo con el *software*. Para ello se debe tener claro qué datos se requieren, con qué frecuencia y en qué formatos estos pueden ser procesados, entre otros aspectos relevantes. Mientras que los datos de salida que el programa pueda entregar nos reflejan que modificaciones se pueden realizar en el uso actual del *software* para modificar el tipo de control.

La UOCT Araucanía cuenta con el *software* Centracs para realizar el control de tráfico vehicular. En este caso, la licencia con la que la institución cuenta, permite ejercer un control de tipo fijo, con planes establecidos por horarios en las distintas redes de semáforos.

3.2. Analizar el funcionamiento actual de sensores inalámbricos disponibles en la UOCT Araucanía

La principal función de que existan sensores inalámbricos en este tipo de servicios es que puedan transmitir información en tiempo real, que pueda utilizarse para tomar decisiones que tengan una verdadera influencia en el tránsito de la red de estudio. Esto puede llevarse a cabo teniendo sensores que se ajusten tanto a las condiciones económicas (costo de implementación, mantenimiento) disponibles en las zonas de análisis, como también a las condiciones tecnológicas permitidas, que comprenden desde la comunicación de los datos, la interpretación de estos, entre

otras variables. Otro factor importante es la distribución de los sensores, dado que sólo pueden implementarse planes de control adaptativo en ejes donde haya presencia de sensores en los accesos principales, además de en calles laterales.

Considerando esto, en este punto se trabajará en la realización de un diagnóstico referente al estado actual de los sensores disponibles en la ciudad de Temuco, que están en control de la UOCT y pueden utilizarse para fines del control adaptativo. Lo anterior considerando tanto el tipo de sensor, el estado de funcionamiento de estos y la posición en la que se encuentran, primando los que están destinados a contar flujo vehicular como función principal.

3.3. Proponer planes de control adaptativo utilizando los sensores disponibles en la UOCT Araucanía.

En esta etapa, considerando los datos obtenidos en las secciones anteriores, se buscó conciliar la información entre lo necesario para la implementación del control adaptativo o alternativas existentes y la información que realmente estaba disponible en función de la posición y estado operativo de los sensores disponibles. Se buscó cual es la mejor opción a implementar y se configurará el sistema para que la alternativa seleccionada se pueda emplear en la operación del sistema.

Para esto se modelaron planes nuevos que se adaptan al patrón de flujos presente en el eje que se seleccionó como zona de trabajo. Estos modelos se hicieron a través del *software* Transyt, *software* especializado en el trabajo con cálculo de tiempos semafóricos en lo que corresponde a desfases entre intersecciones, como también en repartos de verde en intersecciones aisladas.

3.4. Determinar posiciones específicas para próximos sensores que permitan generar planes de control adaptativo.

Considerando si la implementación es efectiva y posible, se identificaron cuáles son puntos críticos en donde sería importante implementar el control adaptativo y vinculado a esto, nuevos sensores de flujo vehicular, que permitan ampliar la cantidad de datos y mejorar con ello la calidad del procesamiento de estos, considerando además la necesidad mínima en cantidad como

en distribución de los sensores para que pueda efectuarse el control adaptativo o la alternativa más conveniente según corresponda.

Además de esto se buscaron a través de los estudios con los que cuenta la UOCT, los lugares donde existen mayores conflictos y donde precisa y representativa la implementación de sensores de flujo que complementen los existentes y puedan sumarse a los datos para generar un mejor control en el tráfico vehicular.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Estudiar las funcionalidades del *software* Centracs.

Se muestran a continuación los aspectos principales del funcionamiento del *software* Centracs, en lo que se pudo observar en operación del sistema como también en estudio documental del mismo.

4.1.1. Funcionamiento de Centracs

Centracs es una aplicación de Sistema de Transporte Inteligente (ITS) que ofrece una plataforma central integrada para el control del sistema de señales de tráfico, monitoreo y control de circuito cerrado de televisión (CCTV), gestión de información, visualización gráfica de datos, operaciones de centro a centro y mucho más. Centracs utiliza la arquitectura cliente / servidor y el procesamiento distribuido para lograr un sistema flexible y escalable. El procesamiento de datos del sistema se distribuye a través de múltiples servidores y aplicaciones, de modo que las funciones del sistema se llevan a cabo de manera más efectiva considerando el costo, las implicaciones de las comunicaciones, la redundancia de seguridad (respaldo) y las capacidades de la interfaz de red.

Las pantallas de monitoreo de Centracs representan los datos gráficamente y le permiten controlar fácilmente lo que ocurre en el sistema. Además de mostrar gráficamente las alertas del sistema, Centracs puede enviar alertas de inmediato a usuarios en línea específicos, a todos los usuarios en línea o a los destinatarios fuera de línea a través de email o SMS (Econolite, 2012). Su principal función es la de controlar el estado de los semáforos conectados a las distintas redes distribuidas en las localidades, a través de una visualización en mapa, generando alertas si alguno de los controladores presenta fallas, y permitiendo modificar manualmente los tiempos, repartos y desfases en los semáforos.

Dentro de las funciones con las que cuenta pueden mencionarse dos importantes, que tienen que ver con el control adaptativo. La función Centracs Adaptive, que utiliza un algoritmo llamado

ACSLite, es un complemento y una licencia externa de Centracs que permite que este tenga control adaptativo. Por otro lado se encuentra la función Traffic Responsive, la cual permite sugerir cambios de planes en tiempo real y si está disponible actualmente en la licencia que posee la UOCT Araucanía. Ambas se explicarán a continuación.

4.1.2. Centracs Adaptive

Centracs Adaptive es un *software* de control de señal adaptativo que reasigna y adapta en tiempo real la temporización de los semáforos según sea necesario para mejorar el flujo del tráfico, incluidas las condiciones de tránsito impredecibles o inesperadas. El sistema captura los beneficios detrás del desarrollo del ACS Lite (Adaptive Control Software) original: el *software* de control adaptativo original diseñado para adaptar los planes de temporización de semáforos y acomodarlos a los cambios de flujo vehicular. Econolite incorpora mejoras a ACS Lite en Centracs Adaptive. Integrado en Centracs ATMS de Econolite, el Sistema Centralizado de Gestión Avanzada de Transporte. Centracs Adaptive está diseñado para agencias de transporte que buscan mejorar la movilidad del tráfico sobre los planes de temporización de semáforos preprogramados. Entre sus características podemos encontrar:

- Disminuye la congestión del tráfico: reduce las paradas, los retrasos y los tiempos de viaje
- Reduce las emisiones de los vehículos y la producción de gases de efecto invernadero
- Aprovecha la detección existente en gran medida
- No requiere calibración / ajuste

El algoritmo que utiliza Centracs Adaptive es ACSlite el cual se explicará a continuación.

- **ACS lite**

Una causa importante de retrasos en el tráfico y congestión vehicular puede atribuirse a una repartición de tiempos inadecuada. La sincronización tradicional de las señales de tránsito se basa en gran medida en unos pocos planes de sincronización programados utilizando pequeñas muestras de datos de horas punta. Adaptive Control Software Lite (ACS Lite) es un sistema de

bajo costo que emplea datos de tráfico a medida que ocurren, para ajustar dinámicamente las compensaciones y divisiones para mejorar el tiempo de la red. A medida que las demandas de tráfico cambian de una hora a otra o durante largos períodos de tiempo, el software ofrece una forma rentable de responder. Con una inversión mínima en infraestructura adicional, capacitación y mantenimiento, las agencias pueden beneficiarse al usar la detección avanzada comúnmente encontrada en intersecciones completamente activas.

Originalmente, el programa fue diseñado para operar como un sistema de circuito cerrado utilizando controladores locales ACS Lite. Econolite ha mejorado el diseño original y ahora ofrece ACS Lite como un módulo de *software* opcional para el Sistema de gestión de transporte avanzado Centrac. El enfoque de Econolite elimina los gastos asociados con los controladores maestros en la calle al operar ACS Lite en el servidor de aplicaciones Centrac. Se logran ahorros adicionales porque los canales de comunicaciones Centrac existentes se utilizan para administrar, monitorear y hacer ajustes adaptativos en los controladores arteriales.

Una de sus características es que adapta divisiones y compensaciones de patrones y planes de control de semáforo con pasos de optimización que ocurren cada 5 a 10 minutos. Utilizando el plan de tráfico actualmente en ejecución, el programa crea y analiza un perfil estadístico de eficiencias de intersección a lo largo de una arteria. En caso de que ocurran interrupciones de comunicación entre la aplicación y los controladores locales, el controlador local aún mantiene la operación coordinada completa de la intersección utilizando los planes preexistentes almacenados en el controlador.

Centrac ACS Lite puede sondear hasta 32 controladores en una sola arteria utilizando comunicaciones Ethernet. Después de medir la fase y la utilización dividida, se ejecutan algoritmos de optimización para reasignar el tiempo dividido de las fases que no están utilizando su división completa a otras fases que necesitan más tiempo. Los algoritmos de optimización también determinan si un desplazamiento anterior o posterior sería más efectivo para mejorar la progresión del tráfico. El programa descarga los nuevos valores a cada controlador en la arteria administrada. Dado que los cambios en los valores de división y compensación son pequeños (generalmente de 2 a 5 segundos), la transición de la configuración actual a la nueva

configuración generalmente se completa dentro de un ciclo. El ingeniero de tráfico controla la frecuencia de las optimizaciones y la cantidad máxima de tiempos de división y compensación se suman o restan de los valores programados. Las pruebas iniciales de demostración de campo de ACS Lite han mostrado una mejora del 5-25% en los tiempos de viaje arterial, una reducción significativa en las paradas, y una mejora entre el 5% y el 50% en los retrasos en las calles laterales y giros a la izquierda, sobre las arterias coordinadas estándar.

4.1.3. Traffic Responsive

El algoritmo Centrac Traffic Responsive (TR) ofrece evaluación de flujo de tráfico en tiempo real y selección de patrones. Guiándose en las especificaciones del algoritmo basado en umbral del Departamento de Transporte de EE. UU. (*threshold-based algorithm*), Centrac TR utiliza múltiples niveles de umbral de flujo de tráfico especificados por el usuario para realizar selecciones de patrones. Los recuentos de detectores del sistema se agrupan por ubicación y dirección para obtener el nivel de detalle necesario para aplicar los datos a tres clasificaciones de umbrales. Estas tres clasificaciones de umbral identifican diferentes tipos de patrones de tráfico, que incluyen:

- Grado de saturación arterial (umbral del ciclo)
- Demanda de salida de flujos entrantes, como flujos salientes (umbral de compensación)
- Demanda de flujos de calle lateral, como flujos entrante y saliente (umbral dividido)

Además, hay dos opciones de sobreocupación para identificar condiciones demasiado saturadas y aplicar patrones específicos para dar prioridad a los movimientos saturados. A diferencia de los algoritmos adaptativos, como ACS Lite, TR no cambia los valores programados del controlador, como tiempos parciales o desfases. Más bien, del grupo de patrones que se han configurado, se selecciona el plan más adecuado para las condiciones actuales (debe configurarse estos planes antes de que se ejecute el algoritmo). Para que funcione a su máximo potencial, debe diseñarse estos patrones preprogramados para manejar las condiciones que se identifican cuando se ejecuta. Por ejemplo, la alta demanda en una dirección específica requiere que el patrón seleccionado aborde la mayor demanda, tal vez con mayor tiempo asignado a las fases en cuestión. Si los

patrones no están configurados correctamente para abordar las condiciones de tráfico identificadas por el algoritmo, el sistema no tiene la capacidad de mejorar el patrón o cambiar ningún otro parámetro de temporización.

Por lo general, la selección de patrones basada en la hora del día puede acomodar variaciones de tráfico predecibles, y este sistema no es necesario. Este algoritmo se adapta mejor a situaciones de tráfico cambiante, inusual o impredecible, como, eventos deportivos, variaciones del día de la semana, vacaciones / días especiales, clima adverso y accidentes / incidentes, entre otras instancias.

Se puede configurar cada algoritmo TR para controlar una Sección, Subsección y / o Grupo de intersecciones.

4.1.4. Alcances

Debido a la disposición de elementos y de licencias de Centracs se tiene que, para implementar Centracs Adaptive se requieren una licencia de Centracs Adaptive (externa a licencia de Centracs) y además una gran cantidad de sensores dispuestos a lo largo del eje a optimizar.

Por otra parte, para utilizar Traffic Responsive se requiere tan solo algunos sensores dispuestos en lugares estratégicos y no una licencia externa dado que Centracs ya cuenta con esta herramienta, se opta por evaluar la implementación de Traffic Responsive. Esto se complementa considerando además el tiempo disponible para el trabajo y los equipos con que se cuenta actualmente.

4.1.5. Traffic Responsive Requerimientos

A continuación se realiza un estudio más acabado de los requerimientos que esta función necesita para entrar en funcionamiento.

- **Datos de Detección**

La buena detección es crítica para la operación exitosa de TR. Por lo general, la detección es más efectiva al menos a 15 metros de la línea de detención (Econolite, 2012). En algunas circunstancias, puede ser necesario identificar longitudes de cola excesivas para que pueda aplicar patrones especiales para disminuir esas colas. Los detectores instalados en las ubicaciones de la parte delantera de la cola pueden alimentar datos de ocupación a canales de sobreocupación, dedicados que luego pueden seleccionar un plan específico para abordar la situación.

La aplicación es flexible en el sentido de que puede incluir detectores en el algoritmo incluso si no están conectados a controladores dentro de la sección que está bajo control TR. Puede usar cualquier detector de sistema de funcionamiento configurado correctamente en cualquier algoritmo TR, cualquier cantidad de veces.

Para minimizar los efectos del mal funcionamiento del detector y / o problemas de comunicación intermitente, Centracs reemplaza los datos del detector del sistema faltantes o defectuosos mientras realiza sus cálculos. Para esto primero se promedia todos los buenos registros de la última media hora y de no ser posible lo anterior, se promedian todos los buenos registros durante 15 minutos antes y hasta 15 minutos después del tiempo de datos faltantes para el mismo día de la semana. Si este procedimiento de dos pasos falla, ese registro no se usa en los cálculos.

- **Canales**

Un canal es una forma de agrupar detectores. Los detectores se asignan a canales según su ubicación o propósito. Una vez que se ha asignado el detector, los canales agregan los datos del detector de modo que los valores finales se puedan asociar en niveles de umbral para la selección del patrón. Hay seis canales:

- Entrante: se usa para agrupar detectores para una de las direcciones principales o coordinadas.

- Salida: se utiliza para agrupar detectores para la dirección principal / coordinada opuesta a la entrante.
- Calles Laterales: Usualmente se usa para agrupar detectores para las direcciones opuestas. Pero si es necesario, puede usar las calles laterales (si está configurada correctamente) para las fases de giro protegidas en la calle principal o en las calles laterales (pero no en ambas).
- Arterial: un canal compuesto por valores entrantes y salientes. No se asignan detectores al canal arterial; más bien, usa este canal para especificar el valor máximo de $V + kO$. Este máximo es el valor más alto de $V + kO$ esperado para la sección en una sola dirección (entrante o saliente). Centracs usa este valor para cambiar los otros valores de salida del canal a un valor porcentual.
- Sobreocupación 1 y 2: estos dos canales están destinados a agrupar detectores cuyos valores de ocupación se utilizan para identificar movimientos o colas altamente congestionados que interfieren con el flujo. Cuando la anulación está vigente, el patrón seleccionado tiene lugar sobre la operación normal de TR. Cuando ambas anulaciones están vigentes, la segunda anulación tiene prioridad sobre la primera.

El valor de $V+kO$ es la variable principal a utilizar como datos de los detectores, y esta se compone de las variables volumen y ocupación. La variable volumen, como su nombre lo indica el volumen de flujo vehicular, y corresponde a la cantidad de vehículos que los detectores logran identificar en cierto período de tiempo. Por otro lado, la variable ocupación es la razón de tiempo que el sensor se encuentra detectando la presencia de algún elemento vehicular, comparado con un tiempo total de funcionamiento, lo cual se mide en porcentaje. Luego la variable se compone de la cantidad de vehículos medidos sumada con el porcentaje en el cual se utiliza el sensor, reducido con un factor “k” determinado por el usuario. El tiempo de cálculo de esta variable en el actual sistema es de 3 minutos y cada uno de los canales, con los detectores que tenga asignados calcula dicho parámetro.

Después de asignar detectores de sistema a canales, Centracs:

1. Calcula un volumen escalado más la ocupación ponderada ($\text{Escala} * (V + kO)$) para cada canal en función de los detectores asignados al canal.

2. Combina los valores del canal matemáticamente para obtener un valor de ciclo, un valor de compensación y un valor dividido.
3. Calcula los valores de las variables ciclo / compensación / división con el umbral programado y determina los porcentajes:
 - Ciclo: $\text{Arterial } V + kO / \text{Max } V + kO$
 - Compensación: $\text{Entrante } V + kO / \text{Arterial } V + kO$
 - División: $\text{Arterial } V + kO / (\text{Arterial } V + kO + \text{Calles Laterales } V + kO)$

Los porcentajes calculados de ciclo, compensación y división son comparados en una matriz que debe ser creada por el usuario, en la cual deben definirse que deberá sugerir el algoritmo si el porcentaje de ciclo se encuentra en cierto umbral mientras las otras dos variables se encuentren en otro.

Para llevar a cabo el funcionamiento de TR se requieren ciertos datos que se enumeran a continuación (Econolite, 2012):

- Frecuencia con la que se ejecuta en esta sección, en minutos
- Hora a la que TR incrementará su intervalo, en formato de 24 horas. Esto no es a la hora de inicio. Por ejemplo, un tiempo de referencia de 15:20 y un intervalo de 15 minutos hará que TR se calcule a las 15:05, 15:20, 15:35, 15:50, 16:05, y así sucesivamente.
- Número de minutos que deben transcurrir antes de que TR envíe un cambio de patrón. Un valor de 0 envía cambios de patrón a medida que se calculan.
- Factor de escala de ocupación en la ecuación $V + kO$ (volumen y ocupación), como porcentaje
- Umbral de actualización inmediata Si el cambio entre el valor del canal anterior y el nuevo valor (antes del suavizado) excede este umbral, TR omite los niveles de umbral y va directamente al que corresponde al nuevo valor del canal.
- Asignación de detectores a los canales correspondientes
- Generación de matriz de umbrales de variables, asignando allí los planes configurados por el usuario

4.2. Analizar el funcionamiento actual de sensores inalámbricos disponibles en la UOCT Araucanía

Se identifican los sensores con los que cuenta actualmente la UOCT, se realiza una descripción de su funcionamiento, se revisa la distribución de estos y de si se encuentran operativos actualmente. En función de lo anterior se define una zona de trabajo.

4.2.1. Tipos de sensores

La UOCT cuenta con dos tipos de sensores vehiculares. Uno de ellos son las espiras, enfocados en detectar presencia más que en el conteo vehicular (cuentan igualmente con esta función pero con menor precisión).

Por otro lado están los sensores magneto-resistivos Sensys, que se utilizan para detectar la presencia y el movimiento de vehículos. Los sensores inalámbricos instalados a ras de superficie en el pavimento en pequeños agujeros, transmiten los datos de detección en tiempo real a un punto de acceso Sensys cercano, mediante una tecnología de radio de baja potencia. Las detecciones vehiculares son luego transmitidas al controlador de tráfico, centro de control de tráfico u otros sistemas. A continuación se profundizará sobre el funcionamiento de dichos sensores.

- **Mecanismo de funcionamiento Sensys**

En orden secuencial los datos se captan de la siguiente manera:

- En primer lugar los datos son captados por el sensor magneto-resistivo Sensys, el cual está posicionado en una de las pistas del terreno.
- Estos datos se envían a un repetidor o a un punto de acceso según corresponda.
- El repetidor como su nombre lo indica tiene por función tomar datos emitidos y repetirlos a otro dispositivo que los requiera.
- El punto de acceso tiene por función recibir los datos y darles sentido para que puedan ser procesados.

- Los datos una vez pasados por el punto de acceso llegan a la tarjeta controladora de punto de acceso, que permite modificar algunos aspectos de la detección.
- Estos datos procesados se envían a la tarjeta de contacto seco, donde nuevamente se procesan y se transfieren al controlador para enviarse al sistema de control de tránsito.

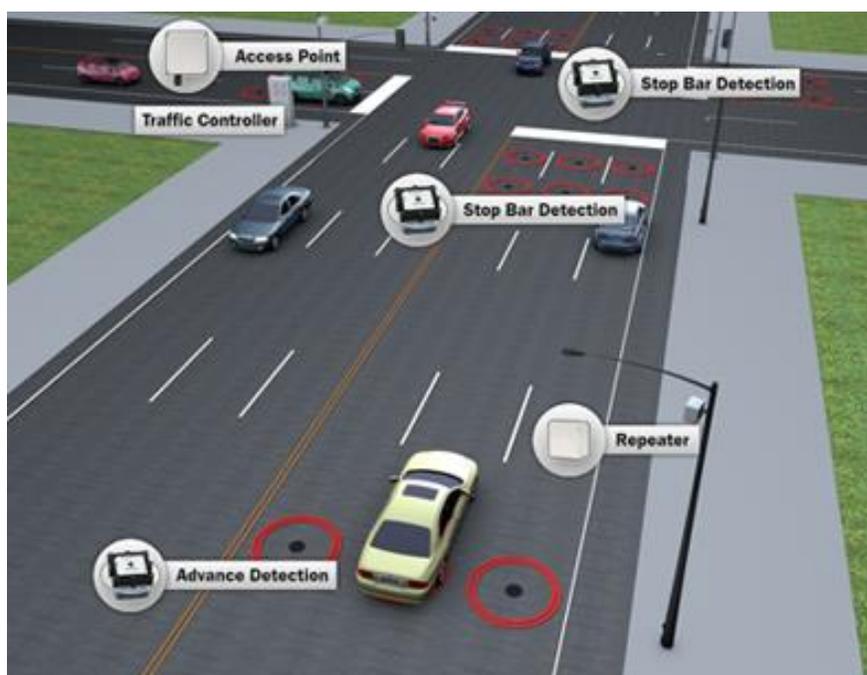


Figura 4.1 Esquema disposición equipos Sensys (Fuente: precisiontrafficsafety.com)

En la figura 4.1 se muestran algunos de los elementos involucrados en el proceso de detección vehicular. Se describen a continuación los equipos que permiten el funcionamiento de los detectores Sensys

- **Detectores Sensys**

El Sistema Inalámbrico de Detección Sensys utiliza sensores magneto-resistivos (figura 4.2) para detectar la presencia y el movimiento de vehículos. Los sensores inalámbricos instalados a ras de superficie en el pavimento en pequeños agujeros, transmiten los datos de detección en tiempo real a un punto de acceso Sensys cercano, mediante una tecnología de radio de baja potencia. Las

detecciones vehiculares son luego transmitidas al controlador de tráfico, centro de control de tráfico u otros sistemas.

Los sensores incrustados en el pavimento combinan un magnetómetro con una radio de baja potencia en una pequeña caja plástica endurecida, especialmente concebida para ser instalada directamente en el pavimento.

Los sensores magneto resistivos presentes en cada detector Sensys miden las componentes de los ejes x, y, z del campo magnético con una frecuencia de muestreo de 128 Hz. A medida que los vehículos ingresan al área de detección, se perciben cambios en los ejes x, y y z del campo magnético medido. Cuando no hay presencia vehicular, los sensores miden continuamente el campo magnético de fondo para mantener una referencia. Cada sensor se autocalibra automáticamente al entorno local y a cualquier variación de largo plazo del campo magnético local, permitiendo que este valor de referencia cambie en el tiempo.



Figura 4.2 Sensor Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)

Repetidor

En casos donde uno o más sensores inalámbricos quedan fuera de cobertura de alcance del punto de acceso más cercano, se utilizan uno o más repetidores (figura 4.3) para proveer comunicación bidireccional entre los sensores fuera de cobertura y el punto de acceso. Solo se deben instalar un

máximo de dos repetidores entre un sensor y un punto de acceso. Para facilitar la implementación, el repetidor es alimentado por una batería, de manera que no requiere ningún tipo de cable.

El repetidor Sensys amplía el rango de cobertura del punto de acceso de una instalación. Montado en un poste u otra estructura a un costado de la vía, debe quedar posicionado de manera tal que quede dentro del rango visual y de alcance de ambos, los sensores a ser comunicados y el repetidor o punto de acceso. Las antenas del punto de acceso y el repetidor poseen un campo visual de 120°, otorgando una flexibilidad considerable.



Figura 4.3 Repetidor Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)

Access Point

El Access Point (figura 4.4) es un dispositivo inteligente que opera bajo un sistema operativo linux, que mantiene enlaces inalámbricos bidireccionales para los sensores y repetidores de una instalación, estableciendo la sincronización horaria, transmitiendo comandos de configuración y confirmación de mensajería y recibe y procesa los datos de los sensores. Luego, el punto de acceso emplea conexiones ya sea alámbricas o inalámbricas (o ambas), para transmitir los datos de detección de los sensores a controladores de tráfico o servidor remoto, sistemas de gestión de tráfico u otra aplicación de detección vehicular.

El punto de acceso utiliza un solo cable para soportar una comunicación Ethernet al igual que la entrada de potencia y en algunas versiones, comunicación serial hacia la tarjeta de contacto seco que provee la interfaz con controladores de tráfico estándar.



Figura 4.4 Access Point Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)

Tarjeta de contacto seco

El Sistema de Detección Vehicular Inalámbrico Sensys puede ser utilizado con controladores de tráfico, mediante la instalación de una o más tarjetas de contacto seco en el rack de detectores del controlador y luego conectándolas a uno o más puntos de acceso. Las tarjetas (figura 4.5), maestra (CC) y de expansión (EX), soportan la interfaz con el controlador, convirtiendo en tiempo real las señales de detección de los sensores atendidos por un punto de acceso, en señales de contacto seco hacia el controlador.

Cada tarjeta CC y EX proporciona uno, dos, tres o cuatro canales. Es posible que se requieran múltiples tarjetas si el rack del controlador posee funciones o fases predeterminadas para cada ranura. Cada sensor inalámbrico Sensys puede ser asignado a un canal individual como también pueden asignarse hasta 15 sensores a un mismo canal para en efecto "sumar" las señales de los sensores de tal modo que si cualquiera detecta un vehículo, el relé correspondiente a ese canal se

cerrará. De este modo, el sistema de detección inalámbrico Sensys puede ser fácilmente configurado de la misma forma en que las espiras inductivas se configuran para interactuar con el controlador de tráfico.



Figura 4.5 Tarjeta de Contacto Sensys (Fuente: sensysnetworks.com)

4.2.2. Diagnóstico de funcionamiento

Los sensores que se estudiaron principalmente corresponden a los Sensys disponibles en la UOCT Araucanía, los cuales se presentan en la Figura 4.6. Se seleccionaron estos equipos debido a que la función principal para la cual se implementaron en la ciudad de Temuco es la de conteo vehicular, a diferencia de las espiras, que principalmente cumplen la función de detectar presencia de vehículos, para activar fases semafóricas.

Cada uno de estos sensores cuenta con una cantidad determinada de equipos dependiendo de las características de las intersecciones en la cual se encuentran.

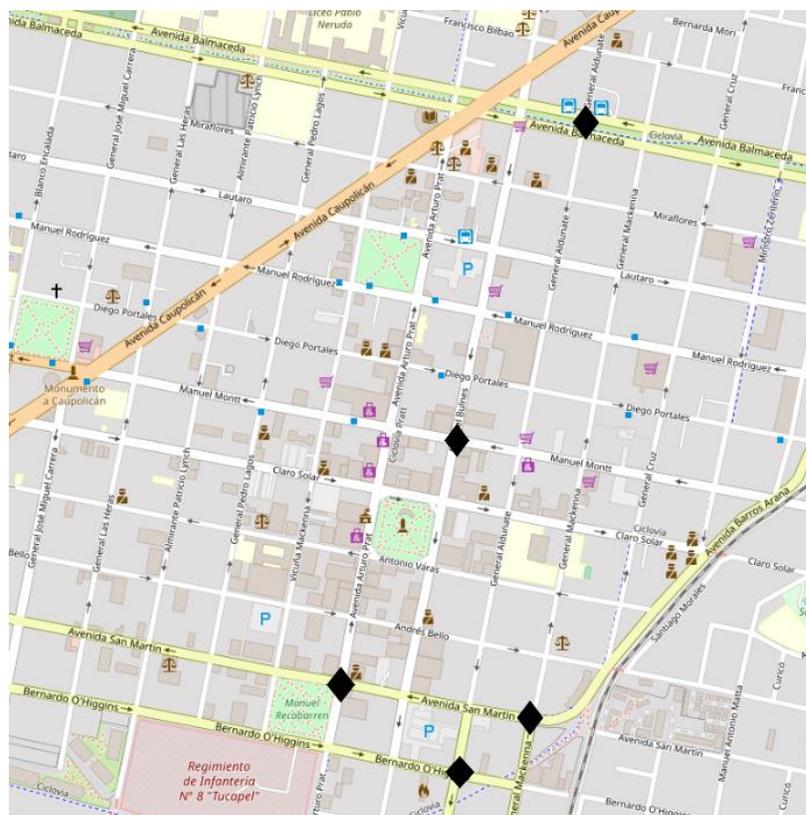


Figura 4.6 Distribución sensores Sensys

- **Cantidad de sensores implementados / Estado de operación de los sensores**

A continuación se enumeran las intersecciones que cuentan con sensores tipo Sensys en la ciudad de Temuco. Se adjuntan diagramas de posicionamiento de los equipos, facilitados por la UOCT quien a su vez los recibió de la empresa que implementó los sistemas de detección Sensys. También se muestra la cantidad de equipos que debiesen existir en terreno según la información entregada por la empresa en cada una de las intersecciones.

- Aldunate / Balmaceda

Tabla 4.1 Equipos Projectados en Aldunate con Balmaceda

Red	Sensores	Access Point	Repetidor	Tarjeta
Centro B	6	1	1	1

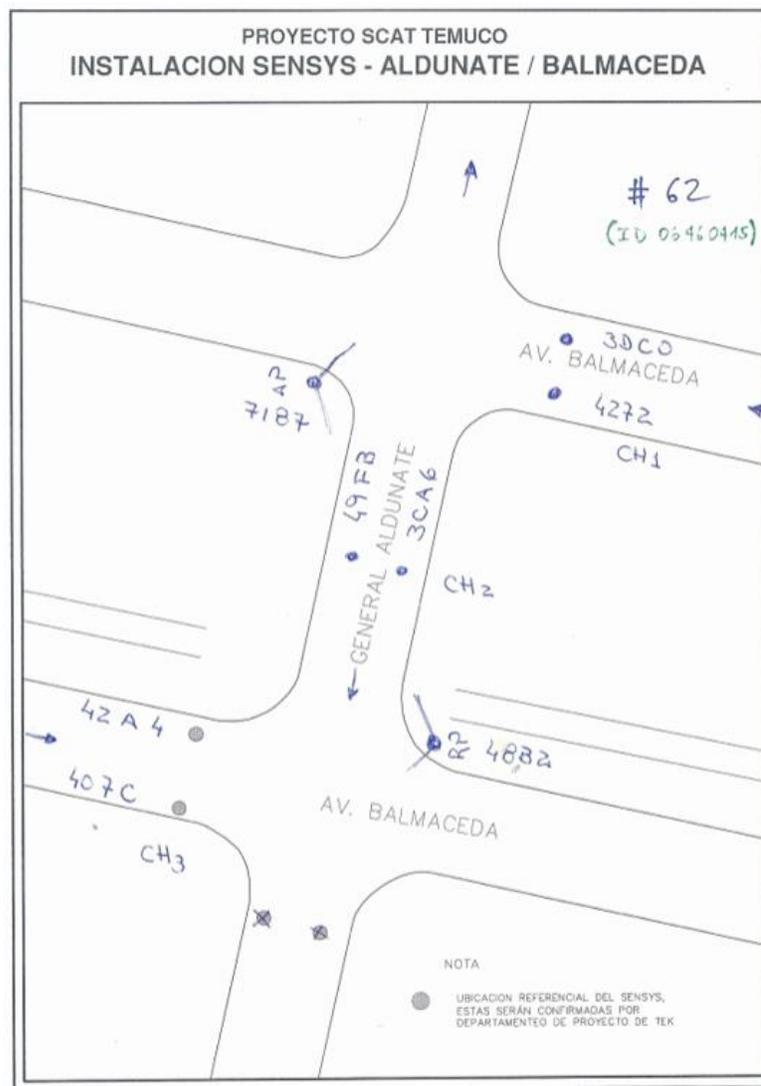


Figura 4.7 Disposición equipos en Aldunate / Balmaceda

- Montt / Bulnes

Tabla 4.2 Equipos Proyectados en Montt con Bulnes

Red	Sensores	Access Point	Repetidor	Tarjeta
Centro 1A	4	1	0	1

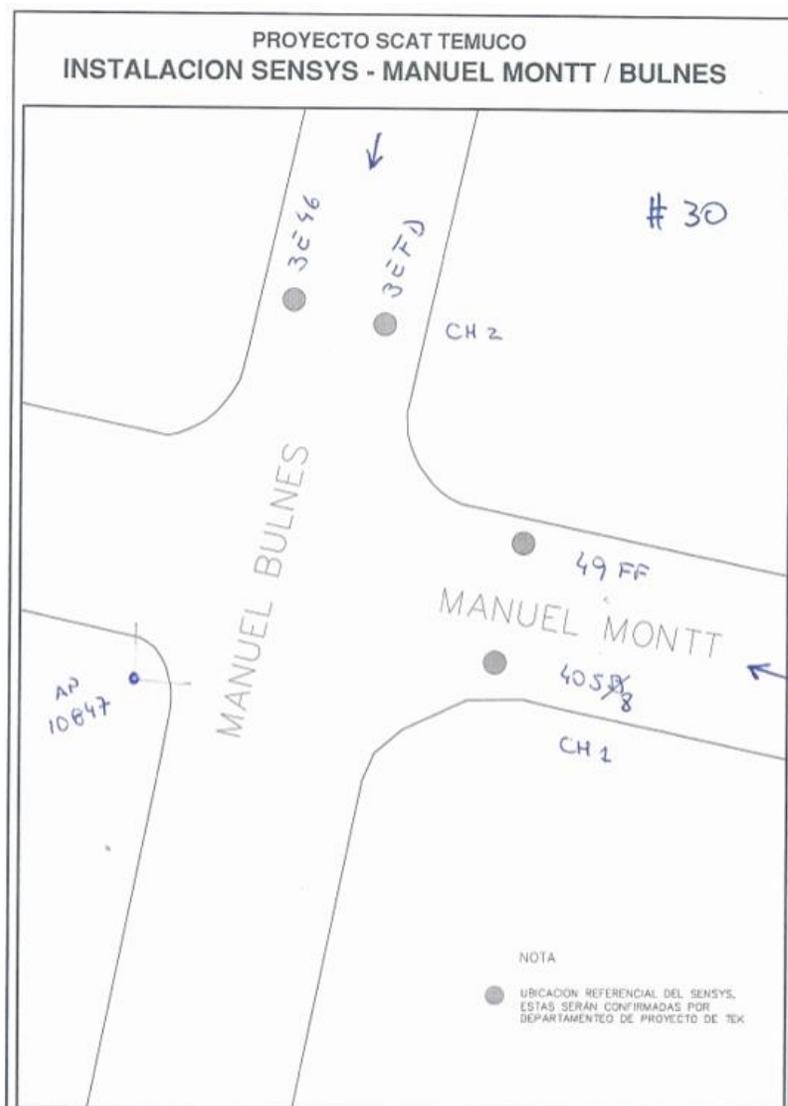


Figura 4.8 Disposición equipos en Montt / Bulnes

- Aldunate / O'Higgins

Tabla 4.3 Equipos Projectados en Aldunate / O'Higgins

Red	Sensores	Access Point	Repetidor	Tarjeta
Red 7 San Martín O'Higgins	5	1	0	1

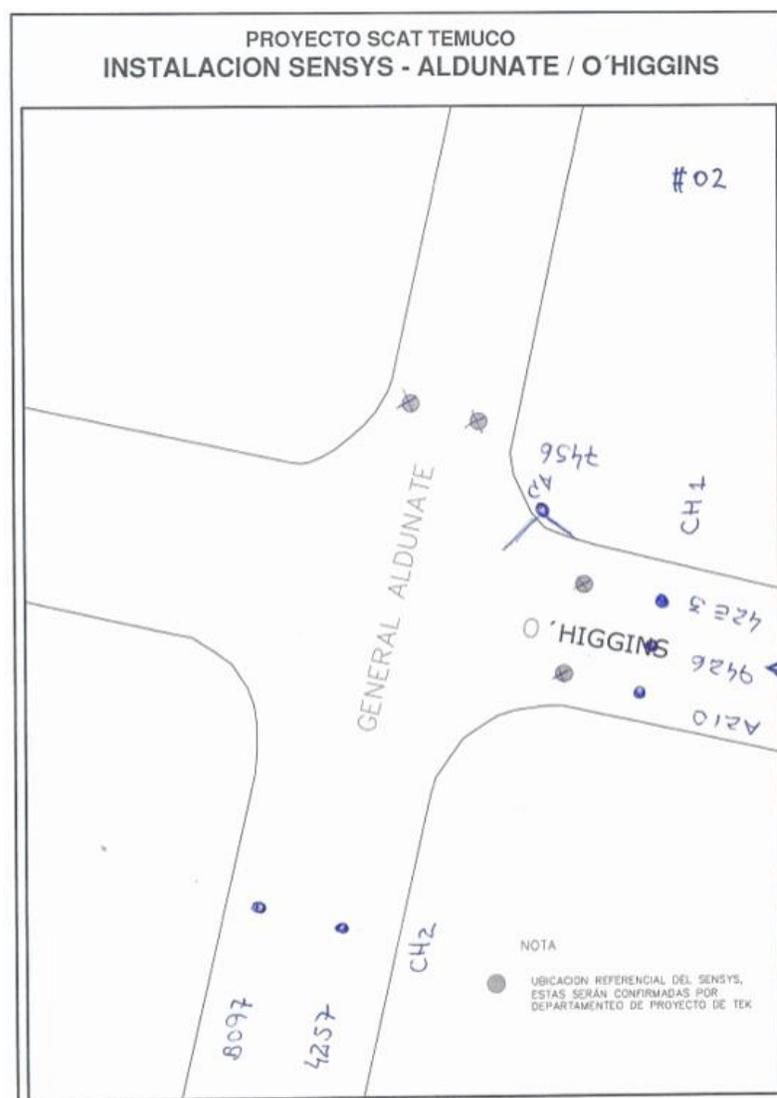


Figura 4.9 Disposición equipos en Aldunate / O'Higgins

- San Martín / Prat

Tabla 4.4 Equipos Proyectados en San Martín / Prat

Red	Sensores	Access Point	Repetidor	Tarjeta
Centro B	5	1	0	1

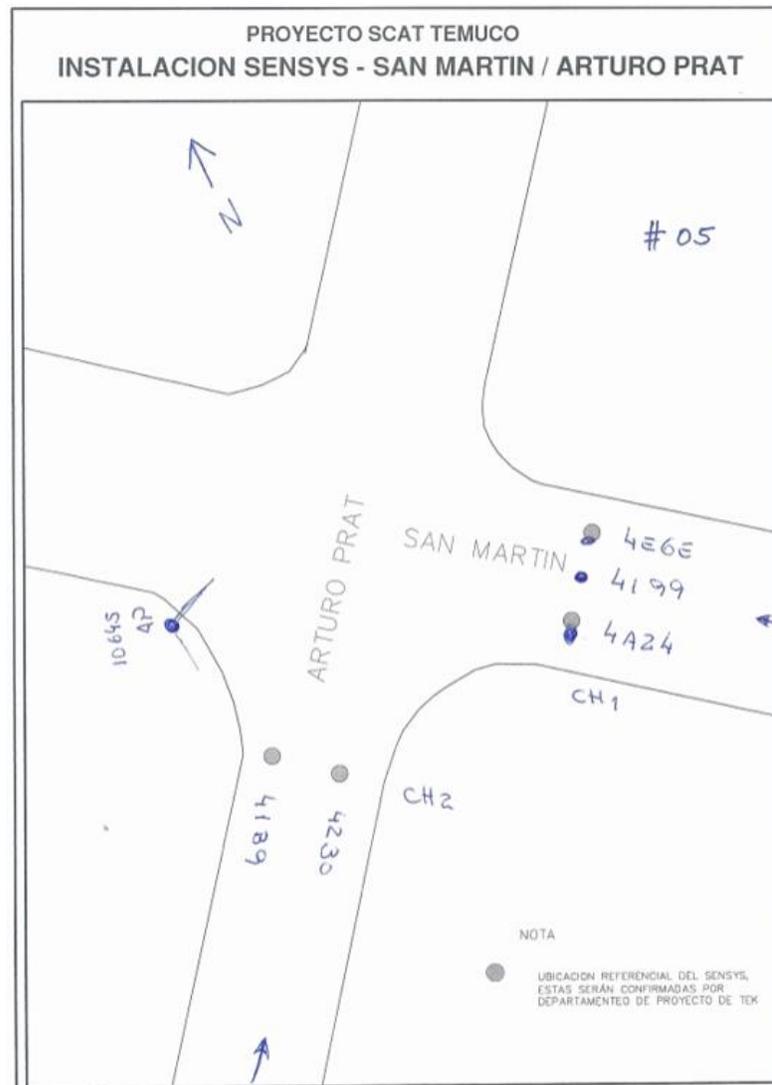


Figura 4.10 Sensores Sensys implementados San Martín / Prat

- San Martín / G. Mackenna

Tabla 4.5 Equipos Projectados en San Martín / G. Mackenna

Red	Sensores	Access Point	Repetidor	Tarjeta
Centro B Red 7 San Martín - O'Higgins	3	1	0	1



Figura 4.11 Sensores Sensys implementados San Martín / G. Mackenna

- **Pruebas realizadas**

Dichos sensores formaron parte de un proceso de chequeo de equipos durante el período 2015-2016. Las pruebas realizadas fueron de un parámetro de evaluación llamado asertividad, que consiste en una razón entre el flujo vehicular contabilizado por el sensor dividido en la cantidad real observada en terreno. Este parámetro fue sometido a pruebas durante el período 2016-2017 y los resultados en detalle se encuentran en la sección de anexos, y a continuación se encuentran los resultados finales:

- O'Higgins / Aldunate : 79,9% - 80,6%
- San Martín / Prat : 66,6 % - 74%
- San Martín / Gral. Mackenna : 71,2% - 80,5%
- Montt / Bulnes : 73,3% - 56,3%
- Balmaceda / Aldunate : 64,9% - 69,6% - 74,6%

Esto nos muestra un error relativo promedio de 27,82%, valor sumamente alto para dispositivos electrónicos que requieren de datos fidedignos para su utilización en tiempo real. En la Sección Anexos se encuentran los valores de cálculo de asertividad.

- **Visita a terreno 06-11-19**

El día 6 de Noviembre se realizó una visita a las intersecciones de O'Higgins / Aldunate, San Martín / Prat, San Martín / Gral. Mackenna y Montt / Bulnes, con el fin de verificar en terreno el funcionamiento de cada uno de los sensores y sus respectivos equipos, monitoreándolos a nivel de controlador.

Se tomaron imágenes de los equipos que pueden observarse en terreno además de engresar al controlador para verificar la llegada de los datos a la tarjeta controladora de punto de acceso. Esto se complementó con la información que llega a la UOCT y a Centracs.

Intersección Montt – Bulnes

- Detector 1: Ubicado en el acceso de calle Montt, existen dos sensores sensys vinculados en un canal (CH1). Estos se encuentran funcionando y realizando conteos vehiculares. Los valores de volume se contabilizan bien, los valores de occupancy también se verifican de manera correcta en períodos de tres minutos para ambas variables.
- Detector 2: Ubicado en el acceso de calle Bulnes, no se puede verificar el funcionamiento de este ya que no se encuentra realizando conteos de volume. En este caso la variable occupancy se encuentra en 100% lo que implica que puede que el sensor se encuentre bloqueado detectando de manera constante.
- Controlador: La Tarjeta de comando se encuentra operativa, recibiendo los datos del detector 1 y 2. Cuenta con una Access box entre la tarjeta y la conexión con el accespoint.
- Centrac: Recibe datos de esta intersección tanto de volume como de occupancy del detector 1 con una asertividad aproximada del 75% y del detector 2 lo mencionado anteriormente.
- Se observan dos elementos sobre los postes de semáforo. Uno se identifica como access point y se presume que el otro sería un repetidor. Esto no se encuentra registrado en los equipos

Intersección San Martín – Prat

- Detector 1: Ubicado en calle San Martín compuesto de tres sensores sensys. De los 3 ninguno registra medición de volume ni de occupancy y además uno de ellos se encuentra en una zona de demarcación donde no se permite el tránsito vehicular.
- Detector 2: Ubicado en calle Prat compuesto de dos sensores sensys. No registra medición de ninguna variable
- Controlador: La Tarjeta de comando se encuentra operativa, recibiendo los datos del detector 1 y 2. Cuenta con una Access box entre la tarjeta y la conexión con el accespoint.
- Centrac: No recibe datos de esta intersección

- Se observa un elemento sobre un poste de semáforo que se identifica como access point. El proveedor de mantención informó que en dicha intersección hace falta un equipo, el cual corresponde a un repetidor.

Intersección Aldunate - O'Higgins

- Detector 1: Ubicado en calle O'Higgins compuesto de tres sensores sensys. Ninguno de estos registra medición de volumen pero registran un 100% de ocupación, por lo que se infiere que existe un problema en la detección vehicular.
- Detector 2: Ubicado en calle Aldunate compuesto de dos sensores sensys. No registra medición de volumen pero si de 100% de ocupación por lo tanto se repite condición anterior.
- Controlador: La Tarjeta de comando se encuentra operativa, recibiendo los datos del detector 1 y 2. Cuenta con una Access box entre la tarjeta y la conexión con el accesspoint.
- Centrac: Recibe valores de Volume iguales a cero y de Occupancy igual a 100%.
- Se observa un elemento sobre un poste de semáforo, que se identifica como access point.

Intersección San Martín - Gral. Mackenna

- Detector 1: Ubicado en calle Gral. Mackenna cuenta con dos sensores sensys. Ninguno de los dos registra datos ni de volumen ni de ocupación.
- Detector 2: Ubicado en calle San Martín (Barros Arana) cuenta con un sensor sensys. No registra datos ni de volumen ni de ocupación.
- Controlador: La Tarjeta de comando se encuentra desconectada, del cable del access box, que tiene el cable de conexión con el access point.
- Centrac: No se recibe ningún dato, ni de volumen ni de ocupación.
- Se recibe información de parte de personal UOCT, que en accidente vehicular se perdió un poste de semáforo, en el cual se encontraba el access point de la intersección.

Considerando lo anterior, se observa que actualmente el único sensor que se mantiene operando de manera operativa es el de Montt – Bulnes, mientras que los demás no están cumpliendo su

función debido a fallas de los dispositivos en distintos órdenes. En la sección Anexos se encuentran algunas imágenes capturadas en las visitas.

4.2.3. Definición de zona de trabajo

La zona de trabajo se definió en función de los datos disponibles, sensores implementados, sensores en funcionamiento y condiciones de aplicabilidad de Traffic Responsive.

En vista de lo anterior es que se eligió el eje de San Martín para realizar la modelación y los planes de Traffic Responsive pues reúne las características: a) sensores Sensys en dos de sus intersecciones que son San Martín con Gral. Mackenna y San Martín con Prat, b) disponibilidad de datos de mediciones vehiculares, c) condiciones de saturación y de requerimientos de optimización del flujo y d) presencia de espiras en calles laterales, para complementar los datos de sensores de entrada y salida.

La zona de trabajo corresponde desde la intersección de Gral. Mackenna con San Martín, incluyendo todas las intersecciones semaforizadas hasta la intersección de San Martín con Freire.

4.2.4. Alcances

Debido a que los sensores actualmente no se encuentran en funcionamiento óptimo, se requiere que para hacer cualquier tipo de implementación, existan sensores que puedan captar datos, por lo tanto, se solicita a la UOCT que pueda realizar modificaciones en los dispositivos actuales. Esto no puede realizarse de manera inmediata ligado a que no existe un contrato de mantención para ese tipo de dispositivos, lo cual genera que los procesos de reparación de los equipos se extiendan.

4.3. Proponer planes de control adaptativo utilizando los sensores disponibles en la UOCT Araucanía.

Dentro de los requerimientos que tienen la función Traffic Responsive de Centrac, se encuentra que deben existir planes que se adapten a los flujos altos, por tanto estos planes deben ser modelados.

Para lo anterior se selecciona Transyt como el *software* para modelar dichas situaciones, pues tiene características muy adecuadas que permiten optimizar de buena manera los flujos vehiculares en intersecciones semaforizadas a lo largo de un eje. Para generar modelos en Transyt se requiere de algunos insumos como mediciones de flujo vehicular en las intersecciones, valores de flujo de saturación de los arcos de cada intersección, tiempos de ciclo de las intersecciones a analizar y tiempos de fases, etapas y entreverde de cada intersección

Los datos anteriores se obtienen de insumos pertenecientes a la UOCT Araucanía, del estudio “Actualización de programaciones de Semáforos de Temuco y Padre Las Casas”, donde se encuentran las mediciones de flujo vehicular. Los valores de flujo de saturación se determinan por la cantidad de pistas existentes en cada una de las intersecciones. Los tiempos de ciclo se extraen del estudio y de lo que se encuentra actualmente funcionando en el sistema, en Centrac. Las fases y etapas se obtienen de lo observado en terreno a lo largo del eje San Martín, además de la información disponible en Centrac. Los tiempos de entreverde se verificaron a través la herramienta Símbolo de Sistema donde se revisan las conexiones de red, y además pueden verificar las lámparas que están encendidas y flasheando segundo a segundo, donde se pueden calcular cada uno de los entreverdes.

4.3.1. Período a optimizar

Considerando el patrón de flujos existente en la ciudad de Temuco, específicamente en la zona de estudio que es el eje San Martín, en consulta con los operadores de la UOCT se afirma que dicha red requiere de una optimización en el período punta tarde. Esto se verifica a través de la observación del sistema de CCTV de la UOCT, por tanto, se opta por seleccionar el horario punta

tarde de la red San Martín. Esta red en el horario punta tarde que se definió, tiene el Plan 5 desde las 17:00 hrs hasta las 20:00, el cual cuenta con un tiempo de ciclo de 64 segundos.

4.3.2. Flujos

Para ingresar flujos vehiculares en un modelo Transyt puede hacerse por dos métodos distintos; a través de matrices origen destino o a través de flujos por intersección en cada acceso y por movimiento. En este caso se contaba con mediciones detalladas de cada intersección modelada por tanto se procede a modelar con dichos flujos. Transyt además tiene la capacidad de diferenciar el flujo vehicular del de transporte público, por tanto, este se diferencia del de la medición total de vehículos. Los datos de transporte privado se extraen de la medición y se ingresan en vehículo equivalente para incluir todos los modos que recorren los arcos.

Las intersecciones que se consideraron para realizar la modelación en el eje San Martín responden a los criterios de existencia de datos de medición, la importancia de la intersección en la red y finalmente a que esta perteneciese a la red 7 del *software* Centracs, para que pudiese ser efectiva la coordinación de los semáforos. Las intersecciones que cumplieron dichas condiciones son Gral. Mackenna – San Martín, Aldunate – San Martín, Bulnes – San Martín, Prat – San Martín, Vicuña Mackenna – San Martín, Lagos – San Martín y Lynch – San Martín

Las intersecciones que continúan en el eje San Martín y pertenecen a la red 7 de Centracs (Carrera – San Martín y Freire – San Martín) no se incluyeron debido a que no existían datos de medición en dichas intersecciones y además se encontraban a una distancia de más de 150 metros lo cual dificulta el proceso de modelación.

Los valores de mediciones vehiculares ingresados se utilizaron, como se mencionó anteriormente en vehículos equivalentes (veq), con el fin de que fueran levemente sobrestimados y así reflejar una situación de congestión vehicular, situación que se buscaba como objetivo, para que los planes creados brindasen una solución cuando existiesen flujos excesivos ligados a situaciones atípicas. Los valores de flujos se encuentran a continuación.

Tabla 4.6 Flujos Vehiculares Modelo

Intersección	Acceso	Movimiento	Tipo Vehículo	
			Privado	Público
Gral. Mackenna San Martín	San Martín	Derecha	11	0
		Directo	624	0
	Gral. Mackenna	Derecha	358	0
		Directo	1116	129
		Izquierda	595	0
			Privado	Público
Aldunate San Martín	Aldunate	Derecha	232	0
		Directo	512	107
	San Martín	Directo	892	0
		Izquierda	297	0
				Privado
Bulnes San Martín	Bulnes	Derecha	541	0
		Directo	297	0
	San Martín	Directo	1099	0
		Izquierda	129	0
				Privado
Prat San Martín	San Martín	Derecha	157	0
		Directo	1529	0
	Prat	Directo	729	0
		Izquierda	490	0
				Privado
Vicuña Mackenna San Martín	Vicuña Mackenna	Derecha	502	27
		Directo	218	0
	San Martín	Directo	1775	0
		Izquierda	72	0
				Privado
Lagos San Martín	San Martín	Derecha	231	0
		Directo	2194	28
	Lagos	Directo	439	27
		Izquierda	103	0
				Privado
Lynch San Martín	Lynch	Derecha	219	0
		Directo	79	0
	San Martín	Directo	2083	38
		Izquierda	59	0

4.3.3. Programaciones iniciales y flujo de saturación

Para la realización del modelo se requiere ingresar datos con los cuales la red pueda optimizarse, por tanto es que se ingresan los datos de entreverdes peatonales, vehiculares y tiempos de inicio de fases para Transyt. Estos se extraen del *software* Centracs y se encuentran a continuación:

Tabla 4.7 Programaciones Iniciales

San Martín Con	Plan	Ciclo	Inicio Transyt		Ent. Ver. Veh.		Ent. Ver. Peat.	
			F1	F2	F1	F2	F1	F2
Gral.								
Mackenna	5	64	40	1	4	4	7	7
Aldunate	5	64	30	67	4	4	7	7
Bulnes	5	64	23	54	4	4	6	6
Prat	5	64	21	48	4	4	12	8
V. Mackenna	5	64	15	48	5	5	13	13
Lagos	5	64	4	38	5	5	12	11

Con respecto a los valores de flujo de saturación, se consideró la cantidad de pistas que permitían cada movimiento para calcularlos. Cada pista con movimiento directo exclusivamente tiene 1800 veh/hr, las pistas con viraje a la izquierda 1700 veh/hr y virajes a la derecha 1660 veh/hr. Los valores anteriores se extraen del “Estudio y actualización de programaciones de semáforos”.

4.3.4. Modelo

Con todas las características antes descritas se procedió a ingresar todos los valores al *software* para el procesamiento de los datos. En primera instancia una vez que se ingresaron los datos se utilizó la función CYOP que posee Transyt, la cual permite optimizar el ciclo de la red considerando los flujos y repartos existentes. Esto arrojó como resultado que el ciclo actual de 64 segundos debe aumentarse a 76 segundos. Con esto verificado se generó el modelo.

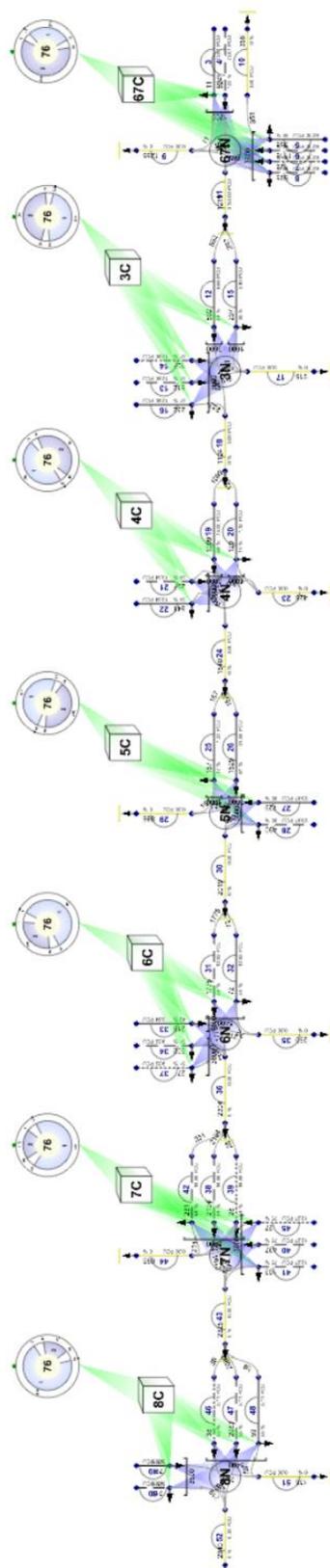


Figura 4.12 Modelo Transyt eje San Martín

Transyt cuenta con distintos modelos de optimización entre los que se destacan el PDM (Platoon disperse model) y el CTM (Cell Transmission Model). De estos dos se seleccionó realizar la modelación con el método PDM debido a las características que tiene la red a modela considerando su tamaño, debido a que el modelo CTM es más adecuado para redes de tamaño menor. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 4.8 Resultados Modelación Transyt

N	San Martín con	Ciclo	In. Transyt		E. Veh		Ini. Verde		T. Verde		Ent. Ver. Peat.		I. sistema	
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
67	Gral. Mackenna	76	6	32	4	4	10	36	19	43	7	7	3	29
3	Aldunate	76	18	56	4	4	22	60	31	31	7	7	15	53
4	Bulnes	76	46	10	4	4	50	14	34	44	6	6	44	8
5	Prat	76	58	23	4	4	62	27	28	54	13	8	49	19
6	V. Mackenna	76	1	51	5	5	6	56	37	13	13	13	69	43
7	Lagos	76	8	64	5	5	13	69	44	9	12	11	1	58
8	Lynch	76	30	12	5	5	35	17	46	26	12	9	23	8

Los datos de Inicio de sistema se agregaron a Centrac en la Red San Martín como un nuevo plan 16 dispuesto para utilizarse. Este nuevo plan se puso a prueba durante el mes de Diciembre del año 2019 con el fin de verificar que su funcionamiento mejoraba las condiciones del tránsito comparado con el plan que actualmente funciona en dicho horario. Esto se pudo verificar en conjunto con los operadores de la sala de control de la UOCT, quienes constataron la mejora de la operación del sistemas mediante el sistema de CCTV. Debido a esto es que dicho plan comenzó a utilizarse en la unidad en momentos en que la congestión observada por cámaras en el eje era importante.

4.3.5. Datos faltantes

Para las intersecciones que no pudieron ser modeladas que corresponden a Carrera – San Martín y Freire – San Martín se generó un nuevo plan 16 con el fin de optimizar el arco completo y que este plan estuviese disponible para todo el eje San Martín. Para generar el plan en las intersecciones que no tenían datos de medición se optó por conservar los repartos de tiempos de verde de cada fase, con la salvedad de un aumento en el tiempo de ciclo respecto al que tenía

inicialmente el plan 5 (64) que se igualó al de la modelación (76). Además se consideró que el desfase en los inicios de verde responde principalmente a elementos geométricos utilizando una velocidad promedio de 40 km/h, utilizando finalmente un tiempo de desfase aproximado de 15 segundos. Los resultados se encuentran a continuación.

Tabla 4.9 Programaciones faltantes modeladas sin Transyt

N	San Martín con	Ciclo	In. Transyt		E. Veh		Ini. Verde		T. Verde		Ent. Ver. Peat.		I. sistema	
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
9	Carrera	74	60	29	5	5	65	34	38	26	13	9	52	25
80	Freire	74	0	50	4	4	4	54	46	20	13	10	65	44

4.3.6. Alcances

Este plan se implementó en distintas ocasiones haciendo una verificación de la operación de este a través del sistema de CCTV con el que cuenta la UOCT, en el cual se observa que la operación del eje mejora de manera satisfactoria. Sin embargo el que no existan sensores de flujo vehicular operativos genera que los resultados no puedan cuantificarse de manera adecuada.

Por otro lado, otra de las dificultades que se presenta es que no se pueden coordinar el eje completo debido a que la intersección de San Martín – Caupolicán pertenece a otra red dentro del *software* Centracs, lo que implica que esta intersección se modeló en conjunto con las intersecciones del eje Caupolicán, generando los desfases en el sentido de dicho eje. Esto genera que mucho del flujo que se optimiza desde el eje San Martín pierda el sincronismo que se generó en el eje optimizado en esta intersección.

Tabla 4.10 Intersección Caupolicán - San Martín datos actuales sin modelación

Caupolican con	Plan	Ciclo	Inicio Transyt		E. Veh		Ini. Verde		T. Verde		Ent. Ver. Peat.		I. sistema	
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
San Martín	5	112	3	51	4	4	7	55	44	60	16	17	103	38

Por las reparticiones de verde observadas (Tabla 4.11), se nota la importancia de flujo que tiene el acceso de San Martín en esta intersección, correspondiente a la fase 2, por tanto, la coordinación realizada en San Martín se ve perjudicada, pero no en gran medida.

4.4. Posiciones ideales de sensores para planteamiento de TR

Para el desarrollo de la función TR se requieren, como se mencionó anteriormente, que existan sensores de flujo vehicular en posiciones específicas de la red a optimizar para tener un funcionamiento adecuado. La propuesta para realizarse a futuro en la UOCT Araucanía corresponde a aplicar esta función en la Red San Martín, específicamente en el Eje San Martín, comprendido desde la calle Gral. Mackenna hasta Caupolicán en sentido Oriente-Poniente.



Figura 4.13 Distribución actual de sensores

En la imagen se pueden apreciar los sensores instalados a lo largo del eje San Martín. Actualmente de ellos, los dos señalizados con un rombo corresponde a sensores Sensys, y como se describió en secciones anteriores, estos dos no se encuentran en funcionamiento actualmente. Existen además tres espiras en calles contribuyentes a San Martín mostradas con un rectángulo. De estas espiras que se encuentran en las calles Lynch, Carrera y Freire, actualmente la ubicada en calle Carrera no está en funcionamiento, mientras que las otras dos se encuentran funcionando. Considerando esto es que se propone la siguiente distribución para dicho eje:

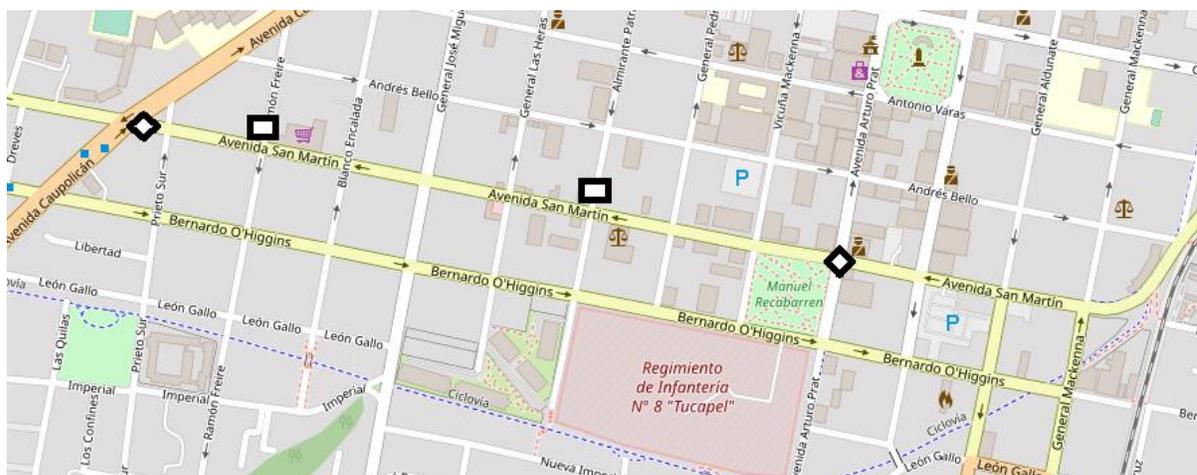


Figura 4.14 Propuesta posición de sensores

Para que esto se lleve a cabo se deben tener las siguientes consideraciones: a) El sensor Sensys de la intersección Prat con San Martín debe repararse, y b) se debe disponer un nuevo sensor en la posición de San Martín con Caupolicán en el acceso de calle San Martín.

Finalmente la distribución de los sensores será de la siguiente forma:

- Entrante: Sensor San Martín - Prat
- Calles laterales: Espira calle Lynch - San Martín y espira calle Freire - San Martín
- Saliente: Sensor San Martín – Caupolicán

Con estos detalles se puede llevar a cabo un uso básico de la función TR en la ciudad de Temuco a través del *software* Centrac, específicamente en el Eje San Martín.

CAPÍTULO 5
TRABAJO COMPLEMENTARIO

5. Trabajo Complementario

En el lapso de tiempo en que se realizó la práctica profesional controlada descrita, la UOCT desarrolló sus ocupaciones de manera normal, siendo el estudiante considerado en algunas labores referentes al área de estudio de la Ingeniería Civil.

5.1. Sintonía Fina Red Centro

Durante el transcurso del año 2018 la UOCT Araucanía se encontraba en el estudio “Actualización de programaciones de Semáforos de Temuco y Padre Las Casas”, que constaba de distintas fases y etapas. Este se desarrolló en parte del año 2018 y durante el año 2019. En la fecha de Septiembre, momento de inicio de la práctica profesional, este proyecto se encontraba en la fase de sintonía fina. Este procedimiento fue realizado por la consultora Límite Ingeniería S.A., principalmente por María Antonieta Eguía, Ingeniera Civil mención Transporte.

El proceso de sintonía fina consiste en:

- Implementación de programaciones nuevas en los controladores de los semáforos en proceso de actualización.
- Observación en terreno del patrón de flujos en las intersecciones con las nuevas programaciones. Esto se realiza en los distintos períodos existentes en cada red e intersección.
- Generación de modificaciones en los repartos semafóricos en función de lo observado. Idealmente estas modificaciones deben realizarse en tiempo real para evaluar si las modificaciones mejoran la operación de las intersecciones.
- Finalmente validar los tiempos hasta que se asegure una operación óptima en todas las intersecciones, en las distintas redes y períodos determinados.

Luego de este proceso las programaciones quedan fijadas en los controladores para que continúen funcionando de forma permanente.

Dentro de este proceso, la UOCT Araucanía al contar con el control de buena parte de los semáforos de la ciudad en la red SCAT, operaba el sistema realizando las modificaciones que encomendaban los consultores a cargo de la realización de la sintonía fina, desde la sala de control. Este proceso tuvo una duración aproximada de un mes correspondiente a parte de Septiembre y Octubre del presente año, en el cual los operadores de la sala de control y el estudiante en práctica, ingresaron programaciones y modificaciones a estas mientras este proceso se realizaba en terreno.

5.2. Revisión de Diseño de Intersecciones

Una de las funciones de la UOCT es la de revisar e inspeccionar obras de semáforos nuevos que vayan a implementarse. Durante la realización de la práctica profesional, se están llevando a cabo proyectos que involucran nuevas intersecciones con implementación de semáforos. Estas requieren ser evaluadas y revisadas por el personal de la UOCT, tarea en la cual el estudiante en práctica formó parte, debiendo hacer uso de la normativa vigente para estas revisiones la cual es la siguiente:

- Manual de Señalización de Tránsito Capítulo 4 Semáforos
- Manual de Señalización de Tránsito Capítulo 3 Demarcaciones
- Manual de Señalización de Tránsito Capítulo 6 Facilidades Explícitas para Peatones y Ciclistas
- Especificaciones Técnicas de Instalación de Semáforos
- Manual de Programación y Modelación de Semáforos

Considerando lo anterior es que se revisaron los diseños de diversas intersecciones entre las que se pueden destacar:

1. Eje Luis Durand (desde Los Creadores hasta Recreo, cada una de las intersecciones)
 - 1.1. Se verifican las programaciones de los semáforos en sus distintos planes, considerando los patrones de flujo actuales.
 - 1.2. Se verifican algunos diseños de fases.

2. Eje Pedro de Valdivia (desde Recreo hasta Javiera Carrera, cada una de las intersecciones)
 - 2.1. Se verifican los Planos de la intersección donde se verifica el diseño de estas, en aspectos de distancias de demarcaciones, dimensión de canalizaciones, posición de postes, entre otros aspectos geométricos.
 - 2.2. Verificación de diseño de fases de las intersecciones, observando los posibles conflictos entre las distintas etapas existentes.
 - 2.3. Verificación de cantidad de elementos como lámparas, cables, entre otros.

Los cruces se implementarán con las observaciones y modificaciones realizadas por el equipo UOCT y el apoyo del estudiante en práctica.

5.3. Sintonía Fina Las Encinas-Mantúa

Como se describió anteriormente el proceso de sintonía fina es de suma importancia para la buena operación de los semáforos nuevos. En la intersección de Las Encinas con Mantúa debía realizarse un proceso de sintonía fina en todos sus períodos para finalizar la implementación de dicho semáforo.:

Esta intersección fue modelada a través del *software* Sidra por lo declarado por la consultora y con ello se determinaron los tiempos de asignados a dicho cruce. Estos se pusieron en funcionamiento en la intersección y se procedió a realizar la revisión de la sintonía fina en terreno. Para dicho efecto personal de la UOCT y el estudiante en práctica concurren a la intersección donde el estudiante en práctica efectúa este proceso.

La visita se realizó en el período fuera de punta tarde (15:00-16:00 hrs), donde se observó el patrón de flujos de dicha intersección y se sugirió reducir los tiempos de ciclo de la intersección debido a que se generaban demoras importantes para la fase 2 correspondiente al acceso de calle Mantúa. Se sugirió además que se analice el diseño de fases, debido a que el actual tiene una fase con etapas en conflicto.

5.4. Revisión AVB y EISTU

Una de las labores de la UOCT es la de ser un ente revisor de informes vinculados a la operación del transporte en proyectos de infraestructura que atraigan o generen viajes en lugares que anteriormente no los tenían. Las obras de infraestructura que requieren dichos informes son principalmente las que tienen fines habitacionales, como villas o edificios de departamentos, como también centros comerciales o relacionados. Dependiendo de la envergadura de este tipo de proyectos es que se pueden clasificar el tipo de informe que corresponda hacer para subsanar los impactos que este pueda tener en la vialidad urbana. La clasificación se encuentra descrita en la metodología del Estudio de Impacto al Sistema del Transporte Urbano (EISTU) TABLA

Considerando lo anterior es que la UOCT debe revisar distintos tipos de estudios y los más frecuentes son los EISTU y los AVB (Análisis Vial Básico). El estudiante en práctica colaboró en la revisión de este tipo de estudios, entre los que se pueden destacar los que se listan a continuación:

- AVB Edificio Mont Blanc
- AVB Edificio Aldunate
- EISTU Táctico Menor Conjunta Habitacional Las Brisas de Labranza IV

El estudiante participó además en otros procesos de revisión, pero no en su totalidad, por tanto estos no se mencionan. De los estudios anteriores se pudieron observar algunos puntos referentes principalmente a diseños de accesos y demarcaciones de los tales, asegurando el correcto tránsito de peatones y vehículos.

5.5. Operación de sistema de Gestión de Tránsito

Una de las funciones que tienen la UOCT es la de operar el sistema de gestión de tránsito en el *software* utilizado para ello. Este se utiliza en conjunto con el sistema de CCTV para verificar en que puntos existe congestión vehicular para así operar manualmente y reducir las colas y atochamientos vehiculares.

El estudiante en práctica aportó en esta labor desarrollando una hoja de cálculo que muestra los tiempos de verde de manera automática con todas las programaciones disponibles en la zona de cobertura del sistema de gestión de tránsito en Temuco, herramienta que se utilizó de manera constante en los períodos de punta tarde para verificar los desfases existentes entre los semáforos además de ser empleada para la optimización de repartos en ciertas intersecciones.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6. Conclusiones

El *software* Centracrs cuenta con diversas funciones útiles para la gestión de tránsito, y es de suma importancia el manejo en plenitud de las funciones disponibles en este para asegurar que la operación sea adecuada. Si estas funciones no se conocen en su totalidad, se desaprovechan muchas potencialidades que con un capacitación y leve inversión mejorarían la operación del sistema.

La opción de utilizar Centracrs Adaptive requiere una inversión muy alta considerando aspectos económicos, de tiempo y de capacitación. Esto debido a que el sistema para implementarse requiere que las mayor parte de las intersecciones semaforizadas de la red cuenten con sensores en cada una de sus pistas y en cada acceso. Además que estas deben instalarse cada cruce, deben ser comunicadas de manera adecuada con la oficina central de UOCT, donde se deben recibir los datos de manera adecuada para que puedan procesarse. Además se debe contar con una licencia externa, la cual implicaría otra inversión y además no existe capacitación ni nociones claras de su funcionamiento en los operadores del sistema. Finalmente existe un aspecto técnico referente a las funciones con las que Centracrs cuenta y debiese contar, que corresponde al acceso de los datos del controlador, los cuales no se encuentran en el *software* por lo que este no puede acceder a optimizar los datos. Considerando todo esto es que la función Centracrs Adaptive se declina como opción a menos que exista posibilidades de invertir en lo mencionado.

La opción de utilizar la función Traffic Responsive de Centracrs tiene una menor complejidad en su implementación debido a que se requiere que una cantidad designada de detectores se encuentren en funcionamiento en ciertas posiciones para que pueda utilizarse, además de los planes a activarse en los momentos requeridos. Estos requisitos son alcanzables con pocas medidas de baja inversión, que permitirían una mejora significativa en la operación del sistema Centracrs.

Los sensores Sensys tienen un buen funcionamiento cuando se someten a un proceso de mantención constante. De no ser así su duración prolongada en el tiempo no puede asegurarse, lo cual dificultaría que se implementasen mejoras que dependan de este tipo de equipos. Al no

existir mantención constante los equipos perdieron su funcionamiento y se debe realizar una mantención generalizada de puesta en marcha para recuperar su operación.

Los procesos de conteo automático de vehículos a través de detectores inalámbricos cuentan con desventajas operacionales debido a la existencia de muchas posibilidades de interferencia en los distintos canales de comunicación. Existen elementos que utilizan las mismas frecuencias de comunicación que los sensores Sensys, por lo tanto, crean interferencias que alteran los resultados de estos datos. A lo anterior se debe la importancia de contar con todas las especificaciones técnicas de instalación y uso de este tipo de equipos.

La distribución que actualmente tienen los sensores Sensys no permite que se pueda optimizar ninguna red, dado que al utilizarse el algoritmo TR se precisa de canales determinados y que los sensores tengan posiciones estratégicas.

Actualmente la UOCT Araucanía no cuenta con los requerimientos necesarios para llevar a cabo el control adaptativo ni el Traffic Responsive. Se plantean las modificaciones necesarias para que Traffic Responsive pueda implementarse en el corto plazo.

Existen pocos estudios vinculados a aspectos del control fijo, adaptativo y dinámico de tránsito. Esto muestra que es un área de estudio que tiene muchos desafíos respecto a conformación de metodologías que verifiquen que los resultados son favorables.

El funcionamiento de instituciones del sector público y su relación con empresas privadas que presten servicios de mantención de equipos, es de vital importancia al momento de definir los elementos que se utilizarán como herramientas para mejorar la operación de los sistemas de gestión de tránsito. También es relevante que las empresas de mantención tengan conocimientos adecuados en lo que respecta a estos equipos, debido a que si estos no se implementan o mantienen de forma adecuada, le restan funcionalidades al sistema, además de hacer un mal uso de los recursos.

El proceso de medir resultados en este tipo de estudios requiere de herramientas que permitan contabilizar flujo, como lo puede ser un sensor o un estudio que permita medir la variación que el flujo ha tenido para calcular así ahorros de tiempo. Al no existir estos medios las conclusiones referentes a operaciones solo se verifican a través de observación por el sistema CCTV lo cual genera incerteza en los resultados.

Bibliografía

- Adams y Yu. (2000). *An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development*. Houston, Texas.
- Econolite. (2012). *Centracs User Manual*.
- Frisius, E. (2014). *GUIA PARA EL USUARIO DE TRANSYT*.
- Mayor y Cárdenas. (2000). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. Mexico D.F.: Alfaomega.
- MINTRATEL. (2019). *Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Unidad Operativa de Control de Tránsito*. Obtenido de <https://mtt.gob.cl/pyd/uoct>
- mundoautos. (11 de Abril de 2018). Experto asegura que Temuco se convertirá en zona de caos Vial. Temuco, Región Araucanía, Chile.
- Pedraza, Hernández y López. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS. *Revista chilena de ingeniería*, 79-88.
- Robles, Ñañez y Quijano. (2009). Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte. *Revista de Ingeniería*, 61-62.
- Ruiz, A. S. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. España: Copyright.
- Tejada, J. M.-R. (2012). *Improvements on the enforcement process based on Intelligent Transportation Techniques. Model and mechanisms for electronic reporting, offence notification and evidence generation*. Leganés, España.
- UOCT. (2019). *Transporte Informa, Unidad Operativa de Control de Tránsito*. Obtenido de <https://araucania.transporteinforma.cl/conoce-uoct/>

A. Anexos

Tabla A.1 Listado Intersecciones Pertencientes a Centracs

Red 1A	Red Centro	Red 1A	Red Centro
M. Rodriguez / G. Aldunate	IP-46	Miraflores / G. Aldunate	IP-73
M. Montt / G. Cruz	IP-63	M. Rodriguez / G. Mackenna	IP-45
A. Varas / A. Prat	IP-18	C. Solar / G. Mackenna	IP-27
Miraflores / M. Bulnes	IP-74	D. Portales / V. Mackenna	IP-35
M. Rodriguez / G. Cruz	IP-44	D. Portales / G. Pedro Lagos	IP-34
A. Bello / A. Prat	IP-12	A. Varas / M. Bulnes	IP-17
A. Bello / G. Mackenna	IP-15	A. Varas / P. Lynch	IP-77
A. Varas / G. Aldunate	IP-16	M. Montt / G. Mackenna	IP-28
A. Bello / M. Bulnes	IP-13	C. Solar / A. Prat	IP-24
M. Rodriguez / V. Mackenna	IP-49	D. Portales / M. Bulnes	IP-37
M. Rodriguez / M. A. Matta	IP-65	Lautaro / A. Prat	IP-51
Miraflores / G. Cruz	IP-66	C. Solar / V. Mackenna	IP-23
D. Portales / B. Arana	IP-69	D. Portales / G. Mackenna	IP-39
A. Varas / G. P. Lagos	IP-20	C. Solar / M. Bulnes	IP-25
C. Solar / P. Lynch	IP-21	M. Montt / M. Bulnes	IP-30
Lautaro / M. Zenteno	IP-56	M. Montt / M. Zenteno	IP-64
Lautaro / G. Mackenna	IP-54	A. Bello / V. Mackenna	IP-11
D. Portales / G. Cruz	IP-40	A. Bello / G. Aldunate	IP-14
M. Montt / A. Prat	IP-31	D. Portales / G. Aldunate	IP-38
M. Montt / G. Aldunate	IP-29	M. Rodriguez / B. Arana	IP-42
A. Bello / G. P. Lagos	IP-10	Miraflores / M. Zenteno	IP-58
Lautaro / G. Aldunate	IP-53	D. Portales / A. Prat	IP-36
Lautaro / M. A. Matta	IP-57	M. Montt / G. P. Lagos	IP-33
A. Varas / G. Mackenna	IP-82	A. Varas / V. Mackenna	IP-19
Miraflores / G. Mackenna	IP-72	A. Bello / B. Arana	IP-68
M. Rodriguez / M. Bulnes	IP-47	C. Solar / G. P. Lagos	IP-22
M. Rodriguez / A. Prat	IP-48	Lautaro / M. Bulnes	IP-52
Miraflores / B. Arana	IP-79	C. Solar / G. Aldunate	IP-26
M. Montt / V. Mackenna	IP-32	D. Portales / M. Zenteno	IP-41
Lautaro / G. Cruz	IP-55	M. Rodriguez / M. Zenteno	IP-43

Tabla A.2 Listado de Intersecciones Red Centro B Balmaceda

	Eje
Red Centro B	Balmaceda
Balmaceda / A. Pinto.	IP - 86
Balmaceda / G. Cruz	IP-60
Balmaceda / G. Mackenna	IP-59
Balmaceda / G. Aldunate	IP-62
Balmaceda / M. A. Matta	IP-61

Tabla A.3 Listado de Intersecciones Red 7 San Martín O'Higgins

	San Martín - O'Higgins
Red 7	O'Higgins
San Martín / P. Lynch	IP-08
San Martín / R. Freire	IP-80
San Martín / A. Prat	IP-05
B. O'Higgins / G. Mackenna	IP-70
San Martín / General Carrera	IP-09
B. O'Higgins / G. Carrera	IP-78
B. O'Higgins / G. Aldunate	IP-02
San Martín / V. Mackenna	IP-06
B. O'Higgins / V. Mackenna	IP-76
San Martín / G. P. Lagos	IP-07
B. O'Higgins / A. Prat	IP-01
San Martín / M. Bulnes	IP-04
B. O'Higgins / P. Lynch	IP-81
San Martín / G. Aldunate	IP-03
San Martín / G. Mackenna	IP-67
P. L. Gallo / G. Mackenna	IP-71

Tabla A.4 Listado de Intersecciones Red Los Poetas

Red Los Poetas	Los Poetas
Los Poetas / Las Quilas	IP-83
Peatonal Los Poetas	IP-84

Tabla A.5 Listado de Intersecciones Red Caupolicán Sur

Caupolicán Sur	Caupolicán Sur
Caupolicán / Bello	IP-128
Caupolicán / M.Montt	IP-126
Caupolicán / F. Salazar	IP-133
Caupolicán / Portales	IP-125
Caupolicán / G. Aldunate	IP-119
Caupolicán / Jobet	IP-134
Miraflores / A. Prat	IP-75
Caupolicán / Claro Solar	IP-127
Caupolicán / San Martín	IP-129
Caupolicán / Lautaro	IP-123
Caupolicán A. Prat	IP-121
Caupolicán / M. Rodríguez	IP-124
Caupolicán / V. Mackenna	IP-122
Caupolicán / León Gallo	IP-131
M. Rodríguez / G. Pedro Lagos	IP-50
Caupolicán / Las Águilas	IP-132
Caupolicán / Balmaceda	IP-120
Caupolicán / O'Higgins	IP-130

Tabla A.6 Cálculo Asertividad O'Higgins – Aldunate

Canal 1				Canal 2			
Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad
9-6-2016	29	27	93.1%	9-6-2016	23	19	82.6%
9-6-2016	35	31	88.6%	9-6-2016	20	18	90.0%
9-6-2016	37	30	81.1%	9-6-2016	17	12	70.6%
9-6-2016	26	22	84.6%	9-6-2016	22	15	68.2%
10-12-2015	23	19	82.6%	10-12-2015	28	21	75.0%
10-12-2015	30	25	83.3%	10-12-2015	30	23	76.7%
10-12-2015	33	21	63.6%	10-12-2015	14	10	71.4%
10-12-2015	40	29	72.5%	10-12-2015	17	12	70.6%
24-11-2015	39	31	79.5%	24-11-2015	27	23	85.2%
24-11-2015	46	31	67.4%	24-11-2015	28	22	78.6%
24-11-2015	35	28	80.0%	24-11-2015	22	17	77.3%
24-11-2015	37	26	70.3%	24-11-2015	29	20	69.0%
19-10-2015	22	16	72.7%	19-10-2015	34	27	79.4%
19-10-2015	13	7	53.8%	19-10-2015	35	29	82.9%
19-10-2015	16	14	87.5%	19-10-2015	36	29	80.6%
19-10-2015	25	21	84.0%	19-10-2015	34	29	85.3%
14-9-2015	36	28	77.8%	14-9-2015	17	14	82.4%
14-9-2015	31	25	80.6%	14-9-2015	30	28	93.3%
14-9-2015	36	24	66.7%	14-9-2015	27	23	85.2%
14-9-2015	40	30	75.0%	14-9-2015	24	21	87.5%
12-08-2015	36	27	75.0%	12-08-2015	32	24	75.0%
12-08-2015	33	29	87.9%	12-08-2015	16	16	100.0%
12-08-2015	36	31	86.1%	12-08-2015	26	22	84.6%
12-08-2015	30	26	86.7%	12-08-2015	26	22	84.6%
24-07-2015	32	27	84.4%	24-07-2015	25	21	84.0%
24-07-2015	21	21	100.0%	24-07-2015	24	18	75.0%
24-07-2015	31	29	93.5%	24-07-2015	21	18	85.7%
24-07-2015				24-07-2015	30	23	76.7%
Promedio			79.9%				80.6%

Tabla A.7 Cálculo Asertividad San Martín – Prat

Canal 1				Canal 2			
Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad
19-12-2016	25	2	8.00%	19-12-2016	27	14	51.9%
19-12-2016	30	5	16.67%	19-12-2016	21	16	76.2%
9-6-2016	30	26	86.67%	9-6-2016	28	26	92.9%
9-6-2016	32	26	81.25%	9-6-2016	23	16	69.6%
9-6-2016	36	30	83.33%	9-6-2016	28	22	78.6%
9-6-2016	31	26	83.87%	9-6-2016	27	23	85.2%
10-12-2015	38	24	63.16%	10-12-2015	56	40	71.4%
10-12-2015	29	14	48.28%	10-12-2015	45	30	66.7%
10-12-2015	31	22	70.97%	10-12-2015	43	34	79.1%
10-12-2015	43	26	60.47%	10-12-2015	48	30	62.5%
24-11-2015	54	46	85.19%	24-11-2015	31	18	58.1%
24-11-2015	59	51	86.44%	24-11-2015	34	21	61.8%
24-11-2015	45	37	82.22%	24-11-2015	38	23	60.5%
24-11-2015	57	48	84.21%	24-11-2015	39	27	69.2%
19-10-2015	49	29	59.18%	19-10-2015	33	21	63.6%
19-10-2015	37	28	75.68%	19-10-2015	56	18	32.1%
19-10-2015	44	31	70.45%	19-10-2015	33	26	78.8%
19-10-2015	53	39	73.58%	19-10-2015	41	27	65.9%
14-9-2015	35	23	65.71%	14-9-2015	35	23	65.7%
14-9-2015	39	26	66.67%	14-9-2015	35	29	82.9%
14-9-2015	41	28	68.29%	14-9-2015	31	25	80.6%
14-9-2015	43	31	72.09%	14-9-2015	33	26	78.8%
12-08-2015	39	31	79.49%	12-08-2015	22	18	81.8%
12-08-2015	42	29	69.05%	12-08-2015	19	15	78.9%
12-08-2015	36	21	58.33%	12-08-2015	23	19	82.6%
12-08-2015	44	23	52.27%	12-08-2015	17	15	88.2%
24-07-2015	48	35	72.92%	24-07-2015	25	22	88.0%
24-07-2015	43	21	48.84%	24-07-2015	30	25	83.3%
24-07-2015	44	29	65.91%	24-07-2015	31	29	93.5%
24-07-2015	37	22	59.46%	24-07-2015	33	30	90.9%
Promedio			66.62%				74.0%

Tabla A.8 Cálculo Asertividad San Martín - Gral. Mackenna

Canal 1				Canal 2			
Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad
19-12-2016	40	33	82.5%	19-12-2016	25	20	80.0%
19-12-2016	44	35	79.5%	19-12-2016	23	19	82.6%
9-6-2016	66	50	75.8%	9-6-2016	22	20	90.9%
9-6-2016	56	38	67.9%	9-6-2016	23	21	91.3%
9-6-2016	59	45	76.3%	9-6-2016	27	24	88.9%
9-6-2016	55	41	74.5%	9-6-2016	26	21	80.8%
10-12-2015	53	36	67.9%	10-12-2015	24	22	91.7%
10-12-2015	59	34	57.6%	10-12-2015	25	19	76.0%
10-12-2015	75	44	58.7%	10-12-2015	26	22	84.6%
10-12-2015	65	39	60.0%	10-12-2015	16	13	81.3%
24-11-2015	56	34	60.7%	24-11-2015	24	20	83.3%
24-11-2015	62	33	53.2%	24-11-2015	36	32	88.9%
24-11-2015	57	35	61.4%	24-11-2015	36	29	80.6%
24-11-2015	53	29	54.7%	24-11-2015	27	25	92.6%
19-10-2015	33	30	90.9%	19-10-2015	57	39	68.4%
19-10-2015	17	17	100.0%	19-10-2015	67	37	55.2%
19-10-2015	26	22	84.6%	19-10-2015	70	32	45.7%
19-10-2015	32	28	87.5%	19-10-2015	63	28	44.4%
14-9-2015	58	43	74.1%	14-9-2015	23	19	82.6%
14-9-2015	51	42	82.4%	14-9-2015	20	17	85.0%
14-9-2015	47	36	76.6%	14-9-2015	24	21	87.5%
14-9-2015	53	38	71.7%	14-9-2015	21	16	76.2%
12-08-2015	56	41	73.2%	12-08-2015	25	23	92.0%
12-08-2015	45	37	82.2%	12-08-2015	22	19	86.4%
12-08-2015	46	35	76.1%	12-08-2015	26	24	92.3%
12-08-2015	56	50	89.3%	12-08-2015	19	17	89.5%
24-07-2015	70	42	60.0%	24-07-2015	25	18	72.0%
24-07-2015	59	28	47.5%	24-07-2015	26	21	80.8%
24-07-2015	60	34	56.7%	24-07-2015	24	20	83.3%
24-07-2015	68	35	51.5%	24-07-2015			
Promedio			71.2%				80.5%

Tabla A.9 Cálculo Asertividad Montt – Bulnes

Canal 1				Canal 2			
Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad
19-12-2016	30	25	83.33%	19-12-2016	18	2	11.11%
19-12-2016	28	24	85.71%	19-12-2016	15	1	6.67%
19-12-2016	28	23	82.14%	19-12-2016	29	3	10.34%
19-12-2016	25	19	76.00%	19-12-2016	30	1	3.33%
9-6-2016	22	14	63.64%	9-6-2016	28	23	82.14%
9-6-2016	32	27	84.38%	9-6-2016	31	19	61.29%
9-6-2016	23	18	78.26%	9-6-2016	29	20	68.97%
9-6-2016	27	21	77.78%	9-6-2016	26	22	84.62%
10-12-2015	33	27	81.82%	10-12-2015	36	14	38.89%
10-12-2015	36	25	69.44%	10-12-2015	41	18	43.90%
10-12-2015	42	28	66.67%	10-12-2015	39	21	53.85%
10-12-2015	39	16	41.03%	10-12-2015	45	16	35.56%
24-11-2015	32	26	81.25%	24-11-2015	28	25	89.29%
24-11-2015	29	22	75.86%	24-11-2015	20	16	80.00%
24-11-2015	26	21	80.77%	24-11-2015	20	13	65.00%
24-11-2015	37	29	78.38%	24-11-2015	21	17	80.95%
19-10-2015	40	25	62.50%	19-10-2015	31	28	90.32%
19-10-2015	35	22	62.86%	19-10-2015	32	24	75.00%
19-10-2015	42	21	50.00%	19-10-2015	27	18	66.67%
19-10-2015	34	22	64.71%	19-10-2015	38	15	39.47%
14-9-2015	40	28	70.00%	14-9-2015	12	8	66.67%
14-9-2015	33	25	75.76%	14-9-2015	10	7	70.00%
14-9-2015	31	27	87.10%	14-9-2015	21	14	66.67%
14-9-2015	33	29	87.88%	14-9-2015	16	11	68.75%
12-08-2015	42	30	71.43%	12-08-2015	12	5	41.67%
12-08-2015	30	22	73.33%	12-08-2015	23	13	56.52%
12-08-2015	32	27	84.38%	12-08-2015	20	14	70.00%
12-08-2015	33	29	87.88%	12-08-2015	13	7	53.85%
24-07-2015	47	30	63.83%	24-07-2015	25	13	52.00%
24-07-2015	43	26	60.47%	24-07-2015	23	11	47.83%
24-07-2015	48	31	64.58%	24-07-2015	23	15	65.22%
24-07-2015	48	35	72.92%	24-07-2015			
Promedio			73.31%				56.34%

Tabla A.10 Cálculo Asertividad Balmaceda – Aldunate

Canal 1				Canal 2			Canal 3		
Fecha	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Terreno	Sala de Control	Asertividad	Terreno	Sala de Control	Asertividad
19-12-2016	19	0	0.0%	12	0	0.0%	12	0	0.0%
19-12-2016	20	0	0.0%	10	0	0.0%	15	0	0.0%
9-6-2016	25	22	88.0%	12	11	91.7%	20	17	85.0%
9-6-2016	22	21	95.5%	10	9	90.0%	27	21	77.8%
9-6-2016	23	20	87.0%	11	10	90.9%	19	15	78.9%
9-6-2016	26	19	73.1%	12	10	83.3%	23	19	82.6%
10-12-2015	49	39	79.6%	12	11	91.7%	23	16	69.6%
10-12-2015	43	27	62.8%	12	12	100.0%	18	16	88.9%
10-12-2015	57	41	71.9%	6	4	66.7%	26	21	80.8%
10-12-2015	28	17	60.7%	18	5	27.8%	34	25	73.5%
24-11-2015	45	30	66.7%	21	18	85.7%	23	17	73.9%
24-11-2015	40	19	47.5%	16	12	75.0%	28	21	75.0%
24-11-2015	32	21	65.6%	17	11	64.7%	18	11	61.1%
24-11-2015	38	26	68.4%	22	15	68.2%	25	18	72.0%
19-10-2015	31	19	61.3%						
19-10-2015	43	15	34.9%						
19-10-2015	34	16	47.1%						
19-10-2015	38	16	42.1%						
14-9-2015	34	26	76.5%	12	10	83.3%	23	21	91.3%
14-9-2015	27	22	81.5%	11	9	81.8%	25	25	100.0%
14-9-2015	33	29	87.9%	6	3	50.0%	18	16	88.9%
14-9-2015	31	25	80.6%	10	7	70.0%	26	21	80.8%
12-08-2015	32	19	59.4%	15	9	60.0%	27	25	92.6%
12-08-2015	36	28	77.8%	11	8	72.7%	25	22	88.0%
12-08-2015	27	21	77.8%	8	8	100.0%	19	17	89.5%
12-08-2015	33	31	93.9%	13	10	76.9%	21	19	90.5%
Promedio			64.9%			69.6%			74.6%

Tabla A.11 Fotos Salida a Terreno



Figura A.1 Tarjeta Contacto Montt -Bulnes



Figura A.2 Access Point Montt - Bulnes Acceso Montt



Figura A.3 Access Point Montt -Bulnes Acceso Bulnes



Figura A.4 Sensores Montt - Bulnes Acceso Bulnes



Figura A.5 Tarjeta de Contacto Prat - San Martín



Figura A.6 Access Point San Martín - Prat Acceso Prat