

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA MINIROTONDA

Oscar Moreno M. (*)

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción
Casilla 53-C, Concepción. Fono 234985 anexo 2320

Rodrigo Fernández A.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Casilla 228/3, Santiago. Fono 6894206

RESUMEN

Dentro de la gestión de tránsito urbano, una singularidad de mucha importancia de la red vial que debe ser abordada son las intersecciones a nivel. Las posibilidades de regulación de éstas son básicamente tres: prioritarias, semaforizadas y giratorias o rotondas.

La rotonda es una forma de regulación que es recomendada cuando se produce un número importante de virajes a la izquierda en la intersección, los flujos por cada uno de sus accesos están equilibrados y existe suficiente espacio para su diseño geométrico; también se ha observado que el uso de rotondas en intersecciones de tres ramas resulta particularmente eficiente. La adopción del criterio de prioridad al flujo circulante (1968) ha permitido el diseño de rotondas más pequeñas y compactas. Esto ha dado origen al concepto de minirotondas, cuyo diámetro se reduce al mínimo posible para reducir el espacio vial utilizado y maximizar su capacidad.

Dado el buen desempeño que han tenido las minirotondas en otros países como forma de regulación de intersecciones a nivel y su nula aplicación en Chile, hace interesante estudiar su comportamiento en el medio nacional. Así, el objetivo de este trabajo es mostrar un estudio experimental de la instalación de una minirotonda y compararla con la forma de regulación previa de la intersección (prioritaria tradicional). El lugar del experimento, el acceso sur del Puente Viejo sobre el río Biobío en la ciudad de Concepción, presenta graves conflictos producto de los numerosos virajes a la izquierda que allí se producen. En al menos dos de sus tres accesos los niveles de flujo están equilibrados tanto en magnitud como en composición y el lugar presenta una amplia plataforma vial que permite la implementación de una intersección giratoria.

Los resultados obtenidos son promisorios respecto de este tipo de dispositivos como elemento de gestión de tránsito: se obtuvo una mejor utilización del espacio vial existente, con consiguientes aumentos objetivos en la capacidad y mejoras en las condiciones de operación de la intersección, así como seguridad para los usuarios.

(*) Actualmente en SEREMI de Transporte y Telecomunicaciones (R.M.)

1. INTRODUCCION.

Dentro de la infraestructura urbana, una singularidad de mucha importancia en la red vial urbana son las llamadas intersecciones a nivel (encuentro de 2 o más vias). Estas según su regulación, se clasifican en intersecciones prioritarias, semaforizadas y giratorias o rotondas, es en este último tipo de regulación en el cual se centró el presente estudio.

Las primeras rotondas aparecen por el año 1920 en Gran Bretaña y corresponden a las "On-side-priority" (prioridad al flujo entrante), éstas correspondían a grandes rotondas, pero tenían el inconveniente de que rápidamente copaban su capacidad. Posteriormente, se comprobó que eran más eficientes si operaban con la regla de prioridad al flujo circulante ("Off-side-priority"). Esta reglamentación aumenta la capacidad de la rotonda en a lo menos un 10% y reduce en un 40% las demoras (Blackmore, 1963).

Esta forma de operación permite diseños más pequeños y compactos, los cuales se caracterizan por islas centrales de menor tamaño y por entradas ensanchadas que cuentan por lo menos con una pista más de circulación que la calzada de aproximación. La calzada se diseña de modo tal que los vehículos deban cambiar de dirección lo que los obliga a bajar la velocidad, mejorando así la seguridad de la rotonda. Las rotondas son particularmente eficientes en intersecciones complejas con un alto porcentaje de virajes a la izquierda, flujos por accesos equilibrados y espacio horizontal suficiente como para permitir un adecuado diseño. Una mejora importante al diseño es el uso de filtros de viraje, que corresponden a pistas especiales para que los vehículos que van a virar en la vía siguiente a la de su acceso, no entren a la rotonda.

Dado el buen desempeño que han tenido las minirotondas en otros países, es que resulta interesante estudiar su comportamiento en Chile. Esto motivado en el hecho de que existen antecedentes que un dispositivo de este tipo puede producir aumento de capacidades y a la vez disminución de demoras. Es claro que la forma más adecuada de probar el buen o mal funcionamiento de una minirotonda en nuestro país, es comenzando a implementarla en intersecciones que cumplan con las características en las cuales el dispositivo se supone eficiente, con el fin de estudiarlas y poder hacerles un seguimiento. De aquí la motivación y el carácter experimental de este trabajo.

Basándose en lo anterior, se analiza la implementación de una minirotonda en el acceso sur del Puente Viejo en Concepción (Moreno, 1993), la cual corresponde a una intersección en "T" que presenta graves conflictos producto de los numerosos virajes a la izquierda sumado a la nula canalización de sus movimientos.

La importancia del experimento radica en el hecho que, si la implementación de la minirotonda arroja resultados favorables, éste podría ser el primero de una serie de estudios con el fin de conocerlas más y poder utilizarlas en forma masiva, con ésto se estaría introduciendo una nueva forma de regulación de

intersecciones en nuestro país.

2. ANTECEDENTES TEORICOS.

A lo largo de los años se ha enfocado desde distintos puntos de vista la modelación de rotondas. A continuación se muestra un resumen de éstas.

Primeramente, Wardrop (1957) desarrolló un modelo que representaba a las rotondas que otorgan prioridad al flujo entrante, el cual fué modificado por el Department of the Environment (1965) y por Dawson (1968), ya que el modelo original sobreestimaba la capacidad.

Posteriormente, con la adopción del cambio de prioridad de las rotondas (al flujo circulante), aparecieron nuevos modelos. Blackmore (1970) desarrolla la fórmula de saturación total, pero Kimber y Semmens (1977) concluyen que la fórmula no responde adecuadamente a las condiciones reales, lo cual es reafirmado por Kimber (1980).

En 1973, tanto Marlow y Blackmore (1973) como Sawer y Blackmore (1973) experimentaron con rotondas tipo anillo, obteniendo aumentos significativos de capacidad, pero dada la complejidad del dispositivo se abandonó este tipo de diseño. Entre los años 1973 y 1975 se experimentó reduciendo el diámetro de la isla central, resultando de ésto un aumento de hasta un 33% de la capacidad.

Los trabajos de Philbrick (1974) y Kimber y Semmens (1977) demostraron que el uso de filtros de viraje producen aumentos en la capacidad y disminución de las demoras.

También han surgido modelos basados en la teoría de aceptación de brechas. Dentro de los principales destacan los desarrollados por Tanner (1962) y Mc Donald y Armitage (1974). Estos modelos fueron abandonados a causa de las críticas realizadas por Halcrow Fox and Associates (1978) y posteriormente por Kimber (1980).

Maycock (1974), propuso una relación del tipo lineal entre la capacidad de entrada y el flujo circulante. Philbrick (1977), comproba la validez de esta relación y que el mejor ajuste lo constituye una línea recta. Trabajos posteriores de Kimber y Semmens (1977), Halcrow Fox and Associates (1978), Glen y Summers (1978) y Kimber (1980), reafirman la validez de los modelos lineales.

En 1980, Hollis, Semmens y Dennis basándose en el modelo para rotondas de Kimber (1980) y en el modelo para calcular demoras y largos de cola de Kimber y Hollis (1979) desarrollaron el modelo computacional Arcady-1 (Assesment of Roundabout Capacity And Delay version 1).

Dada la diversidad de modelos existentes, en este documento se ha optado por explayar sólo el modelo a utilizar, el cual corresponde al desarrollado por el Department of Transport del Reino Unido

(Willumsen y Kay, 1986).

Las variables geométricas que afectan la capacidad de las entradas a una rotonda se muestran en la figura 1 y éstas son: el diámetro (D) y el radio (r) del círculo inscrito por la rotonda, ancho de la entrada (e), ancho de la calzada de aproximación (v), ángulo de entrada (α) y largo efectivo del ensanchamiento (l').

La capacidad de cada entrada Q_e depende del flujo de circulación qc de acuerdo con la fórmula (1).

$$Q_e = k [a X - b Y (1 + X) qc] \quad (1)$$

Donde las longitudes se miden en metros, los ángulos en radianes y los flujos en vehículos equivalentes por hora. Los experimentos realizados han permitido calibrar estos valores como sigue:

$$a = 1515$$

$$b = 0.21$$

$$k = 1.0 - 0.0331 (6 \alpha - \pi) - 0.0489 (20 / r - 1)$$

$$X = \frac{16 v (e - v) + 5 l' e}{25 l' + 80 (e - v)}$$

$$Y = \frac{3 \exp (6) + 2 \exp (0.1 D)}{2 [\exp (6) + \exp (0.1 D)]}$$

La ecuación (1) permite entonces calcular la capacidad de cada entrada como una función del flujo circulante y de los parámetros geométricos de la rotonda.

Dado el nivel de flujos para un diseño o flujos de referencia, se puede entonces calcular la razón flujo capacidad (RFC) del cual dependen directamente las colas. Típicamente se diseña de modo que las RFC sean a lo más iguales a 0.85 para evitar problemas de saturación en una entrada. Si las restricciones físicas son muy importantes se debe partir con un diseño que satisfaga las restricciones del espacio disponible, calcular capacidades, colas y demoras. Luego se modifica el diseño hasta que todas las entradas funcionen bien. Esto puede producir diseños que no se conforman totalmente a los estándares prevalecientes.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACION.

El sitio seleccionado para este experimento fué el acceso sur del Puente Viejo, San Pedro, intersección en "T" que pertenece a la red vial primaria de Concepción. Luego, su buen funcionamiento es de suma importancia.

Actualmente esta intersección se encuentra regulada por la regla

de prioridad Ceda el Paso (ver figura 2). Dado al espacio físico que ocupa y la nula canalización y demarcación en ésta, se generan variados conflictos a causa de que no existe claridad para los usuarios de cuál es la posición o ruta a seguir. A esto se suma el hecho que uno de sus accesos corresponde al Puente Viejo, el cual cuenta con sólo una pista por sentido de 3.0 m. de ancho cada una. Es en éste donde se generan los mayores conflictos, debido a que un porcentaje no despreciable de su flujo vira a la izquierda (15%). Al realizar el viraje éste pierde prioridad ante los vehículos que se dirigen hacia Concepción desde San Pedro, lo que induce la formación de colas a lo largo del puente.

Por lo anteriormente expuesto, se han realizado estudios para dar solución a los conflictos, proponiéndose finalmente 2 alternativas que corresponden a proyectos de infraestructura. Esta es otra razón para seleccionar este lugar, ya que de ser eficiente la minirotonda, se logrará dar solución al problema con una medida de gestión de tránsito, al menos en el corto plazo mientras el dispositivo seleccionado no sea implementado.

El diseño de la minirotonda fue restringido básicamente por el espacio físico con que se contaba, considerando anchos mínimos de pistas y radios mínimos de giro de acuerdo al Manuales de Vialidad Urbana, Vol. 3 (MINVU, 1984) y la demarcación según el Manual de Señalización de Tránsito (MINTRATEL, 1982). Dicho diseño puede apreciarse en la figura 3. Es importante resaltar que no se contemplan modificaciones físicamente materializadas, sino sólo demarcaciones en la calzada, a fin de probar primeramente el diseño antes de materializarlo definitivamente.

Los parámetros geométricos de la minirotonda son los mostrados en la tabla N° 1.

TABLA N° 1 . PARAMETROS GEOMETRICOS DE LA MINIROTONDA

PARAMETRO	ACCESO		
	CONCEPCION	SAN PEDRO	SANTA JUANA
D (m)	20.00000	20.00000	20.00000
e (m)	8.00000	7.00000	9.00000
v (m)	3.05000	5.50000	3.25000
r (m)	45.00000	45.00000	17.50000
l' (m)	5.00000	4.00000	10.00000
& (g)	0.00000	0.00000	0.00000
Y	1.49100	1.49100	1.49100
X	0.84750	1.23636	1.05490
K	1.03756	1.03756	1.00340

Los parámetros indicados en la tabla N° 1 son los necesarios para la determinación de la capacidad teórica de la minirotonda, según la ecuación (1). Los resultados obtenidos derivados de la expresión del Departament of Transport del Reino Unido (Willumsen y Kay, 1986) se muestran en la TABLA N° 2.

TABLA N° 2. CAPACIDADES TEORICAS DE LOS ACCESOS.

ACCESO	CAPACIDAD (VEH/H)
CONCEPCION	1272
SAN PEDRO	1815
SANTA JUANA	1089

La demarcación de la rotonda se concretó en un día. En un comienzo se colocaron conos plásticos sobre las islas de modo de acostumbrar a los conductores al diseño, además de entregarles un volante para que visualizaran mejor el diseño, en éste también se incluían algunas recomendaciones para la correcta utilización del dispositivo.

Cabe señalar que después de una semana de funcionamiento con conos, éstos fueron retirados y aproximadamente un 40% de los conductores de vehículos livianos respetó la demarcación; en cambio, los conductores de locomoción colectiva lo hicieron en aproximadamente un 90%. Esto último es atribuible a que éllas son los usuarios que más utilizan la intersección a lo largo del día.

Por lo antes expuesto, es que se decide estudiar el comportamiento de la minirotonda como si estuviese materializada físicamente, por lo cual se dejan en forma definitiva los conos sobre las islas.

4. VARIABLES DE OPERACION.

Las mediciones de las variables de operación se realizaron en cinco períodos: punta mañana (PM), punta medio día (PMD), punta tarde (PT1 y PT2) y fuera de punta (FP). A continuación se resumen las variables de operación de la intersección para cada periodo.

4.1. Flujo vehiculares y tasas de ocupación.

En la tabla N° 3 se muestran los flujos en vehículos equivalentes, por acceso para cada periodo y en la tabla N° 4 se pueden apreciar las tasas de ocupación según tipo de vehículo, por acceso y para cada periodo. La metodología utilizada fue el conteo directo en terreno, totalizados cada 15 minutos.

TABLA N° 3. FLUJOS VEHICULARES SEGUN ACCESO.

PERIODO	FLUJO POR ACCESO (VEQ/H)		
	CONCEPCION	SAN PEDRO	SANTA JUANA
PM	639	1081	310
PMD	1311	586	234
PT1	1007	1001	211
PT2	1107	923	190
FP	547	639	220

TABLA N° 4. TASAS DE OCUPACION SEGUN ACCESO (PAX/VEH.).

ACCESO	CONCEPCION				SAN PEDRO				SANTA JUANA			
	PERIODO		Auto	Txb.	Auto	Txb.	Bus	Cam	Auto	Txb.	Bus	Cam
PM		1.29	11.10	1.83	30.56	17.33	1.0	1.60	28.00	61.00	1.0	
PMD		1.97	24.85	1.58	11.60	19.50	1.0	1.33	11.43	15.60	1.0	
PT1		1.80	22.14	1.83	14.96	56.25	1.0	1.21	9.14	13.00	1.0	
PT2		1.92	22.25	1.68	14.49	62.50	1.0	1.13	8.00	13.00	1.0	
FP		1.53	8.15	1.65	15.59	24.25	1.0	1.52	9.60	13.00	1.0	

4.2. Velocidades.

Para determinar las velocidades de los distintos movimientos que se producen en la intersección se filmó cada periodo con una cámara de video portátil, para luego procesar la información en laboratorio. Una de las ventajas de aplicar este método es que en el laboratorio pueden realizarse todos los retrasos o adelantamientos que el proceso requiera. También posibilita verificar los datos obtenidos cuando se deseé. Además, la decisión de utilizar el video se apoyó en el hecho de que ha sido utilizado con éxito en nuestro país en estudios similares (Aguayo, 1985).

La metodología a seguir para determinar las velocidades para cada periodo consistió en filmar durante al menos una hora por periodo cada movimiento, siguiendo con la cámara al vehículo desde que ingresa hasta que abandona cierto tramo de la vía previamente definido. Luego se determinó el tiempo ocupado en recorrer el tramo para cada vehículo a través de la reproducción de la imagen en un video reproductor. Con esto se obtuvo el tiempo promedio en recorrer el tramo y la velocidad promedio a la que los vehículos salvan la intersección. En la tabla N° 5 y N° 6 se muestran los resultados obtenidos para vehículos livianos y de locomoción colectiva respectivamente, tanto para la situación sin proyecto (SP) como para la situación con proyecto (CP), esta última situación corresponde a la minirotonda.

TABLA N° 5. VELOCIDADES VEH. LIVIANOS POR ACCESO.

PERIODO	VELOCIDADES VEH. LIVIANOS POR ACCESO (KM/H)					
	CONCEPCION		SAN PEDRO		SANTA JUANA	
	SP	CP	SP	CP	SP	CP
PM	13.2	19.5	7.3	10.7	13.0	17.1
PMD	20.2	33.4	27.2	21.0	13.3	15.0
PT1	21.3	32.5	26.0	22.9	16.1	17.0
PT2	17.9	30.8	26.3	22.9	16.0	18.0
FP	21.5	35.5	32.1	27.7	16.2	19.1

TABLA N° 6. VELOCIDADES VEH. LOC. COLECCITIVA POR ACCESO.

PERIODO	VELOCIDADES VEH. LOC. COLECC. POR ACCESO (KM/H)					
	CONCEPCION		SAN PEDRO		SANTA JUANA	
	SP	CP	SP	CP	SP	CP
PM	20.9	30.4	5.9	9.3	12.4	15.0
PMD	19.8	24.6	23.6	19.4	17.4	24.0
PT1	22.9	31.2	19.2	18.0	18.0	19.3
PT2	19.7	29.6	27.5	26.5	16.9	20.5
FP	27.5	33.9	24.6	26.3	17.8	23.5

Al comparar los valores de las tablas anteriores se puede observar como en el acceso Concepción y Santa Juana las velocidades aumentan en aproximadamente un 56.3% y 17.2% respectivamente, y en el acceso desde San Pedro disminuyen en aproximadamente un 13.8%.

4.3. Largos de cola.

Los largos de cola por cada acceso se determinaron por conteo directo cada cinco minutos y en un lapso de una hora para cada periodo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 7.

TABLA N° 7. LARGOS DE COLA POR ACCESO.

PERIODO	LARGOS DE COLA POR ACCESO (VEH)					
	CONCEPCION		SAN PEDRO		SANTA JUANA	
	SP	CP	SP	CP	SP	CP
PM	0.44	0.28	*	18.94	2.72	1.89
PMD	2.17	1.00	2.22	2.94	1.33	0.94
PT1	5.38	1.11	2.61	3.00	1.28	1.22
PT2	5.56	1.83	2.28	2.44	1.22	1.17
FP	0.94	0.61	0.61	0.89	1.00	0.83

(*) : No se consideró por bloqueo aguas abajo de la intersección.

Al comparar los valores de la tabla anterior se puede observar que los correspondientes a la situación con proyecto son los esperados, ya que para los accesos Concepción y Santa Juana los largos de cola disminuyen. Esto se debe a que en la situación con proyecto en el acceso desde Concepción los vehículos que viran hacia Santa Juana no provocan detenciones a los que siguen hacia San Pedro. En el acceso Santa Juana éstas disminuyen ya que se producen más brechas debido a que cuando vira un vehículo desde el puente hacia Santa Juana, el flujo hacia Concepción desde San Pedro se detiene.

En el acceso San Pedro, en cambio, los largos de cola aumentan, debido a que ahora pierden su prioridad y deben ceder el paso a los

vehículos que se encuentran en la minirotonda para virar desde el puente hacia Santa Juana. A causa del bloqueo aguas abajo de la intersección en la situación sin proyecto en el periodo punta mañana, dicho periodo no fué posible considerarlo en la evaluación del dispositivo.

4.4. Flujos de saturación.

Los flujos de saturación considerados para la situación sin proyecto son los determinados en un estudio anterior (Menares, 1991), los cuales pueden apreciarse en la tabla N° 8. En cuanto a los flujos de saturación con proyecto, es necesario para medirlos que se cumpla la condición de "saturación plena", lo que significa que debe existir una cola estable en cada uno de los accesos de la minirotonda para que el dispositivo funcione a su capacidad máxima.

Para obtener el valor de la capacidad de cada acceso, se filmó a lo largo del día la minirotonda, para después en laboratorio seleccionar los trozos de cinta que cumplan con la condición de saturación plena. Sin embargo, en el acceso de Santa Juana esta condición se cumple en muy pocos momentos a lo largo del día, motivo por el cual la medición de capacidad de dicho acceso no fué posible. En la tabla N° 8 pueden apreciarse los resultados obtenidos.

TABLA N° 8. CAPACIDAD DE LOS ACCESOS.

ACCESO	CAPACIDAD (VEQ/H)	
	SP	CP
Concepción	1400	1601
San Pedro	1700	1791
Santa Juana	1000	----

Al comparar los valores obtenidos a través de las mediciones directas de capacidad y los valores teóricos (tabla N°2), se pueden hacer algunos alcances.

Para el caso del acceso Concepción, el valor obtenido a través de la medición directa es superior al valor teórico. Lo cual es atribuible a que:

- a) Este flujo, en muy pequeño porcentaje, utilizó el dispositivo en forma correcta, es decir, no respetó la regla de prioridad al flujo circulante (esta conclusión se obtuvo de la observación en terreno y de la revisión de las cintas de video). Luego, estos usuarios siguieron usando la intersección igual que antes de instalar la minirotonda, ya sea por falta de información, entendimiento o simplemente porque no respetaron el dispositivo.
- b) Se generó una pista especial para los virajes a la izquierda hacia Santa Juana, antes inexistente, que no produce la

interrupción del flujo hacia San Pedro desde Concepción.

Para el caso del acceso San Pedro, el valor obtenido a través de la medición directa es inferior en un 1.4% al valor teórico; lo cual es razonable ya que lo normal es que la fórmula teórica entregue valores de capacidad algo superiores a los reales. Lo anterior producto de que ésta considera un comportamiento (habilidad para salvar el dispositivo) idéntico de los conductores, lo cual es un supuesto discutible.

Finalmente, se puede decir que a pesar que los usuarios no estaban aún acostumbrados del todo a utilizar la minirotonda al momento de realizar la medición, el cálculo teórico de capacidades de entrada es bastante preciso en este caso.

Si se hace una comparación entre los valores de las capacidades reales de la minirotonda con las capacidades que se tenían antes de implementarla, se puede apreciar un aumento del 5,4% en el caso del acceso San Pedro y de un 14,4% en el caso del acceso Concepción, con lo cual verifica el aumento esperado de capacidad de la intersección producto de la minirotonda.

4.5. Evaluación económica.

Para determinar los indicadores económicos del funcionamiento de la minirotonda se adoptaron los precios sociales del mes de diciembre de 1991, entregados por MIDEPLAN (\$ 253.75 por hora, \$ 87,13 por litro de gasolina de 93 octanos y \$ 86,61 por litro de Diessel). Los resultados económicos derivados de la materialización de la minirotonda y de sus índices de rendimiento arrojan un VAN al primer año de más de \$ 12 millones; con esto la TRI resultó exceder el 2400%. Lo anterior, para una inversión social de \$ 584.000 y beneficios de \$ 14,2 millones al año (20% provenientes de ahorros de tiempo y 80% por menor consumo de combustible).

Es necesario hacer notar que los costos de inversión fueron calculados como si la minirotonda se hubiera materializado físicamente, ya que la medición de las variables de operación se realizó utilizando conos plásticos para que el dispositivo fuese respetado.

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

Este estudio, como todo experimento, no estuvo exento de dificultades. Entre éstas se pueden señalar las siguientes:

Dado que la materialización de la minirotonda fué hecha por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, sin el equipo apropiado y ninguna experiencia anterior, ésto trajo como consecuencia que la demarcación no fuera la mejor y por ende no quedara tan clara como se deseaba. Por otra parte, el desface entre la materialización de la demarcación y la instalación de la señalización vertical, fué otro inconveniente que produjo algunos desaciertos de los conductores y que se encontraban de pronto con

una demarcación no anunciada. Además, debido a lo avanzado del año en que se implementó la minirotonda (primeros días de diciembre), se dió poco tiempo a los usuarios a que se acostumbraran al dispositivo (10 días) antes de realizar la evaluación. Esto debido al hecho que si se daba más tiempo, la evaluación se habría realizado en verano, con los consiguientes cambios de los períodos punta y en la estructura de los flujos. Finalmente, faltó información a los usuarios con respecto a lo que se estaba haciendo y por qué, producto de la falta de disponibilidad de recursos para realizar la difusión del experimento.

No obstante lo anterior, del estudio realizado pueden inferirse las siguientes conclusiones y comentarios respecto de cada uno de sus aspectos más relevantes.

En primer término, se comprobó la eficiencia y eficacia señalada por Aguayo (1985) de realizar las mediciones de las variables de operación a través de la grabación de los fenómenos que ocurren en la intersección con una cámara de video, ya que evita errores por concepto de apreciación o descuido en terreno y queda la filmación para poder comprobar en cualquier momento los datos obtenidos.

En lo que respecta al comportamiento de los usuarios frente a la demarcación, se puede concluir que fué poco adecuado en general. Esto se puede deber a la poca costumbre de encontrarse con ella, ya que en la ciudad de Concepción ésta es escasa. Dado lo anterior, un diseño de este tipo es conveniente materializarlo físicamente.

Pudo además comprobarse que la educación de los usuarios es fundamental en cualquier medida de gestión de tránsito, en particular, en un dispositivo del tipo estudiado, para lo cual es necesaria una buena campaña publicitaria, tanto en los medios de prensa escritos como televisivos.

En resumen, la implementación de la minirotonda trajo consigo:

- a) Un beneficio social que si bien no es tan alto (\$14.222.489 al año) no deja de ser significativo; como el valor privado de su implementación es bajo (\$ 816.145), su rentabilidad social es excelente (2.437,3%).
- b) Un aumento de capacidad significativo en el acceso desde Concepción (14.2%). Es importante señalar que este no sería tan grande si el flujo que llega a la intersección por dicho acceso utilizara el dispositivo correctamente; la gran mayoría de los usuarios de este acceso siguieron utilizando la intersección igual que antes, es decir, consideraban que tenían prioridad.
- c) Un aumento de capacidad de un 5,0% en el acceso San Pedro, este aumento es real ya que los usuarios de éste sí utilizaron el dispositivo correctamente.
- d) Una mejor utilización del espacio disponible en la intersección, así como un encauzamiento para cada movimiento que en dicha intersección se produce.

Cabe hacer notar que la implementación de la minirotonda encontró variadas y contradictorias opiniones entre usuarios, técnicos y autoridades locales, las cuales fueron desde que la implementación de la minirotonda es imposible (¡una locura!) en un espacio tan reducido como en el que se implementó, hasta aquellos que simplemente les pareció una genialidad lo que se había realizado en la intersección para resolver sus conflictos. Sin embargo, transcurrido un mes desde que se terminó de evaluar el experimento la autoridad decidió eliminar el dispositivo aludiendo al alto riesgo de accidentes al no estar materializada con soleras, aun cuando en dicho periodo no ocurrió ningún accidente imputable a la minirotonda.

Por último, la importancia de este estudio radicó en lo inédito a nivel nacional de la experiencia: por primera vez se estudió una minirotonda en forma experimental y no teórica. Los resultados obtenidos motivan a seguir las experiencias, ya que esta forma de regulación puede ser una buena alternativa de solución a ciertos problemas que se generan en algunas intersecciones, principalmente a los que se producen por giros a la izquierda, como en este caso.

AGRADECIMIENTOS.

Al Ministerio de Obras Públicas, Dirección Regional de Vialidad VIII Región, por autorizar y financiar la materialización de la minirotonda.

A los alumnos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Concepción, que aportaron la mano de obra para la materialización de la minirotonda.

REFERENCIAS.

- Aguayo, S. (1985). Modelamiento de rotondas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.
- Blackmore, F. (1971). Capacity of single-level intersections. Road Research Laboratory, LR 356. Ministry of Transport, Crowthorne.
- Blackmore, F. (1963). Priority at roundabouts. Traffic Engineering and Control, 5 (2) 104-106, Reino Unido.
- Blackmore, F. y Marlow, M. (1975). Improving the capacity of large roundabouts. Transport and Road Research Laboratory, LR 677. Department of the Environment, Department of Transport, Crowthorne.
- Green, H. (1977). Accidents at offside priority roundabouts with mini or small island. Transport and Road Research Laboratory, LR 774. Department of the Environment, Department of Transport, Crowthorne.

Glen, M., Summer, S. y Kimber, R. (1978). The capacity of offside priority roundabout entries. *Transport and Road Research Laboratory, SR 436*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

Hollis, E. (1979). A program to model flows, queues and delays at a roundabout. *Traffic Engineering and Control 20(4)*, Reino Unido.

Hollis, E., Semmens, C. y Denniss, L. (1980). ARCADY A computer program to model capacities queues and delays at roundabout. *Transport and Road Research Laboratory, LR 940*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

Kimber, R. y Semmens, M. (1977). A track experiment on the entry capacities of offside priority roundabouts. *Transport and Road Research Laboratory, SR 334*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

Kimber, R. (1980). The traffic capacity of roundabouts. *Transport and Road Research Laboratory, LR 942*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

Menares, C. (1991). Análisis de dos puntos singulares de la ruta 160 Concepción Lebu. *Informe de Habilitación Profesional para optar al título de Ingeniero Civil*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Concepción.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (1982). *Manual de Señalización de Tránsito*. Santiago.

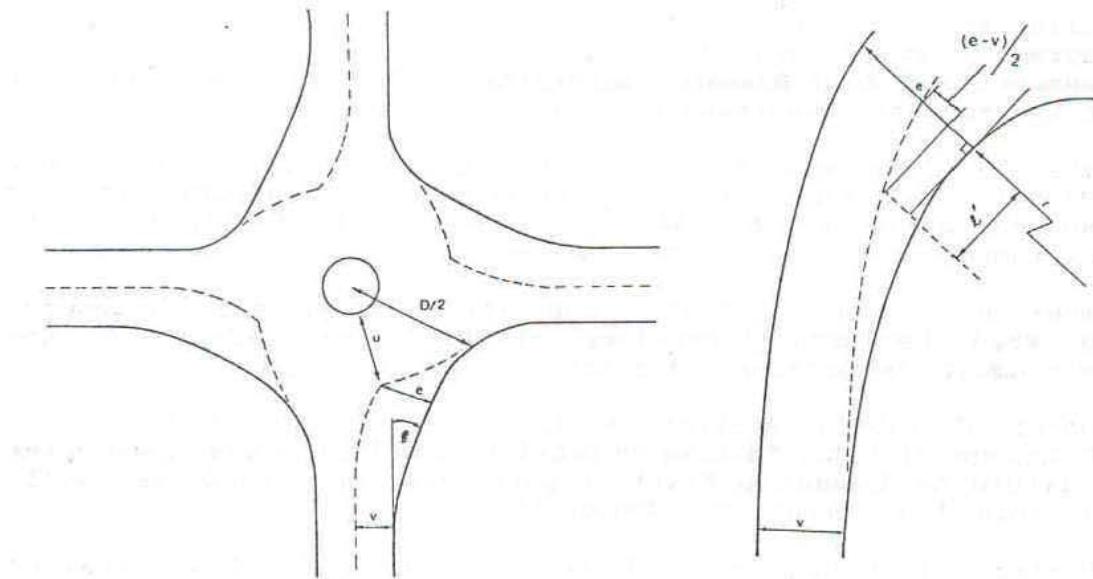
Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1984). *Manual de Vialidad Urbana, Volumen 3. Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana*. Santiago.

Moreno, O. (1993). Estudio Experimental del Funcionamiento de una Minirotonda. *Informe de Habilitación Profesional para optar al título de Ingeniero Civil*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Concepción.

Philbrick, M. (1977). Insearch of a new capacity formula for conventional roundabouts. *Transport and Road Research Laboratory, LR 773*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

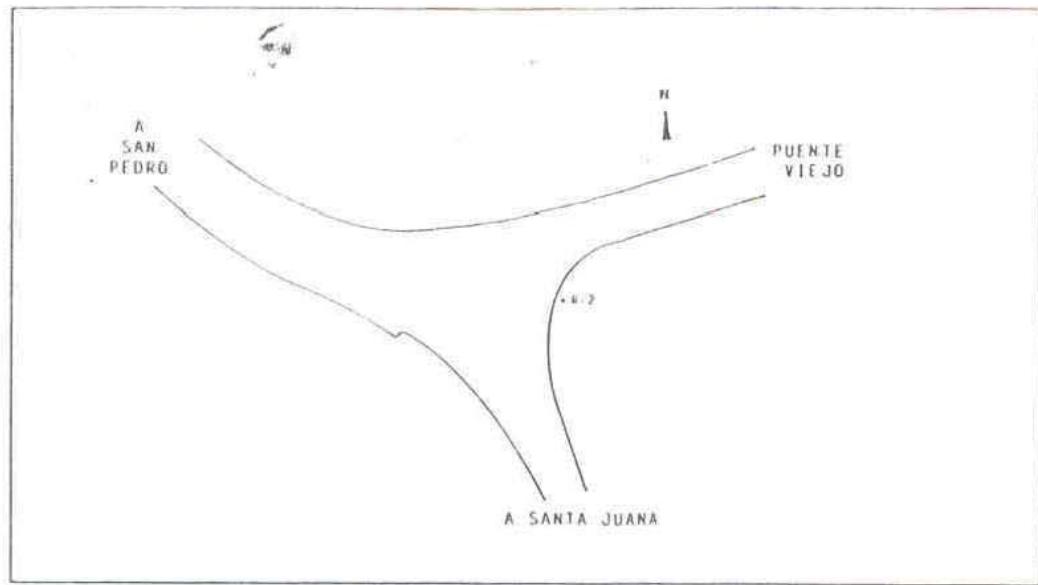
Semmens, M., Fairweather, P. y Harrison, I. (1980). Roundabout capacity: public road experiment at Wincheap. *Transport and Road Research Laboratory, SR 554*. Departament of the Environment, Departament of Transport, Crowthorne.

Willumsen, L. y Kay, W. (1986). Diseño de rotundas usando computadoras. *Actas del IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, 3-16, Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte*, Santiago.

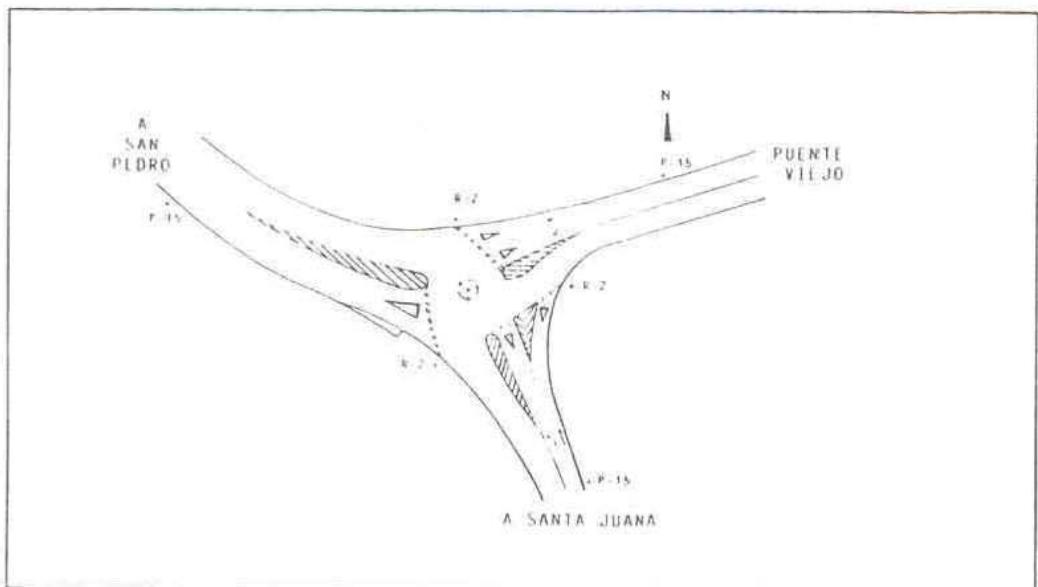


e : Ancho de entrada
 u : Ancho de circulación
 D : Diámetro circunferencia inscrita
 v : Ancho de aproximación
 f : Angulo de ensanche del perímetro
 l' : Largo efectivo del ensanchamiento

PARAMETROS GEOMETRICOS DE ROTONDAS "OFFSIDE PRIORITY"
 Figura 1.



SITUACION SIN PROYECTO
Figura 2.



SITUACION CON PROYECTO
Figura 3.