

Proyecto de Carreteras - T 014
CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE MÉTODOS DE CÁLCULO
DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL DISEÑO DE
ALCANTARILLAS CLASIFICADOS POR REGIONES,
APLICADOS A RUTAS REPRESENTATIVAS DE SAN
JUAN

Oscar Mario FERNÁNDEZ
Carlos G. GONZÁLEZ ALLADIO
Leonardo Jaime FULLANA
Maria Yanina ESPER ANGILLIERI
Nélida Susana OZAN
Maria Eugenia RUIZ

Investigadores de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña.
y Departamento de Matemáticas. Facultad de Ingeniería. UN de San Juan.

ARGENTINA

Resumen

El agua y los factores relacionados con ella son elementos muy importantes en el proyecto de obras viales. Para el diseño de las alcantarillas de un camino, es necesario determinar con aproximación suficiente los caudales máximos que van a solicitar las mismas.

El objetivo de este trabajo es ajustar dos fórmulas de cálculo de derrames máximos usadas en la práctica vial para regiones de San Juan, el Método General Racionalizado de F. Rhule y el Método Racional Clásico.

Es necesario determinar los caudales máximos teóricos que predicen estos métodos para las cuencas elegidas y compararlos con los caudales máximos que efectivamente pasan por las obras de arte de las rutas seleccionadas.

Decidir sobre los factores de ajuste a introducir para calibrar los parámetros de mayor influencia para los métodos de cálculo.

Facilitar la adopción de medidas correctivas para las obras hidráulicas de los tramos de rutas que recurrentemente sufren deterioros de importancia debido a eventuales imprecisiones en la estimación de los derrames extraordinarios.

Se analizaron los siguientes tramos de rutas:

RN N° 149; Tramo: Empalme RP N° 436 - Puente Río San Juan, en Pachaco.

RN N° 40; Tramo: Talacasto - Tucunuco

Los trabajos de gabinete incluyen tareas de análisis y planificación para la zonificación de las obras de arte con más problemas en el mantenimiento y reconstrucción en diferentes rutas de San Juan. Estudios de antecedentes de temas relacionados con el proyecto de caminos para evaluar los aspectos climáticos, geológicos e hidrológicos de las cuencas de derrame y el cálculo de caudales teóricos. Para el método racional se utiliza el método estadístico de Gumbel.

En trabajos de campaña se realizan mediciones en las obras de arte existentes de las rutas seleccionadas. Las mismas deben haber funcionado bajo condiciones hidrológicas desfavorables que puedan asimilarse a valores de máximos escurrimientos. También se evalúan las características de los cauces para adoptar los valores de las variables que intervienen en las fórmulas.

Con los datos de campo se determinan los caudales con la verificación hidráulica, utilizando el software CULVERT MASTER de Haestad Methods de EE.UU.

Con estos resultados, considerando parámetros de comparación como la relación de caudales; promedio de la relación de caudales e índice de dispersión se ajustan los parámetros intensidad horaria en ambos métodos y el coef. de escorrentía del Método de Rhule.

El trabajo permitió observar los aspectos de funcionamiento reales de las obras de arte seleccionadas. Como resultado, se sugiere a la Vialidad que para el tramo de la RN N° 40 aplique el Método Racional con datos de precipitación de la Estación Mogna, y afectar la Intensidad horaria por un coef. $C_c = 0.8$ en las cuencas entre la prog. 3518 km y prog. 3525 km, y por el coef. $C_c = 0.75$ entre esta última y la prog. 3555 km. De igual manera se sugiere que para la RN N° 149 se utilice el Método de Rhule afectando la escorrentía E por un coef. $C_c = 0.60$ en todas las cuencas que afectan esta ruta.

1. Generalidades

En las etapas preliminares de los estudios hidrológicos en zonas donde se desarrolla un camino, es necesario evaluar tanto el efecto de la alteración del escurrimiento natural de los caudales que impondrá la presencia de la futura obra vial, como las consecuencias de la concentración de los mismos sobre cada una de las alcantarillas del camino a construir.

En cualquiera de las dos evaluaciones precedentes, y con mayor motivo en la fase del diseño hidráulico de las obras de arte respectiva, es necesario determinar con un grado de aproximación suficiente los caudales máximos que para los periodos de recurrencia seleccionados han de solicitar a las alcantarillas.

El propósito de este trabajo es ajustar dos expresiones de cálculo de derrames ampliamente usados en la práctica vial, Método General Racionalizado del Ing. Federico Ruhle de la D.N.V y el Método Racional Clásico. La parte central del planteo metodológico es evaluar las dispersiones entre los derrames máximos teóricos por ellos pronosticados y los caudales reales constatados en las obras de arte seleccionadas en las rutas más representativas de la Provincia de San Juan.

La selección de los métodos mencionados obedece no sólo a su difundida utilización, sino también porque no requieren del conocimiento de variables climatológicas demasiadas desagregadas; estas últimas suelen ser difíciles de obtener o suelen encontrarse incompletas.

Con las expresiones teóricas calibradas a nuestras condiciones climatológicas y de suelos, se facilitará entre otras aplicaciones, la adopción de medidas correctivas para las obras hidráulicas de aquellos sectores de rutas que recurrentemente sufren deterioros como consecuencia de eventuales imprecisiones en la estimación de los derrames extraordinarios.

El trabajo completo se desarrolló para las siguientes rutas: Ruta Nacional N° 149, desde el empalme Ruta Provincial N° 436 (Dpto Iglesia)- puente de Pachaco en el Río San Juan (Dpto Calingasta), y la Ruta Nacional N° 40, Talacasto - Tucunuco del Departamento Jáchal.

En adelante se expone la aplicación de la metodología, estudios, y conclusiones solamente para la Ruta N° 40 desde Talacasto hasta Tucunuco del Departamento Jáchal.

2. Metodología de trabajo

Este proyecto de investigación comprende dos importantes actividades principales: los trabajos en gabinete y los trabajos de campaña.

2.1 Trabajos de Gabinete

En esta etapa se incluyen las tareas referentes la planificación de actividades para definir la zonificación de las alcantarillas a estudiar. Se requiere además obtener antecedentes de caminos para considerar en primera instancia las rutas con más problemática en el mantenimiento y reconstrucción de obras dañadas por los eventos de crecidas.

2.1.1 Búsqueda de antecedentes

En esta etapa se analiza el relevamiento de antecedentes sobre los aspectos topográficos, hidrológicos y datos climáticos de las regiones donde se desarrolla el tramo de ruta elegida. Un aspecto a considerar es la dificultad en la gestión con instituciones de gobierno provincial y nacional para la obtención de la información y material necesario para el desarrollo del trabajo.

2.1.2. Antecedentes Topográficos

La información básica está en base a las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (I.G.M. Las cartas que cubren las zonas de estudio son las siguientes:

Ruta Nacional Nº 40

Carta topográfica Talacasto	Escala: 1:100.000	Año:1983, Fig. Nº 1
Carta topográfica Sierra de Talacasto	Escala: 1:100.000	Año:1983, Fig. Nº 2

Sobre este material se analizaros las cuencas de aporte de las diferentes sierras que generan los derrames hacia la ubicación del trazado del camino. Con esta zonificación analizada en las cartas se trasladaron a las imágenes satelitales para determinar las magnitudes y características de las mismas.

2.1.3 Antecedentes Geológicos

Se hizo el estudio de interpretación y análisis digital de imágenes satelitales denominadas Ikono (4m de resolución) y Landsat ETM (30 y 15 m de resolución), usando tecnología GIS (ArcGis).

Desde el punto de vista morfológico, el área está caracterizada de oeste a este por las siguientes unidades:

- a) Un área montañosa occidental: representada por la Sierra de Talacasto. Sus mayores elevaciones corresponden a los cerros El Quemado (2756 m) y El Sapo (2256 m).
- b) El área pedemontana: Se conecta la zona montañosa con la planicie aluvial. Las alturas que predominan en esta porción varían entre 1000 y 1200 m.s.n.m.
- c) Un área llana (zona de barreales): Corresponde a la porción distal del piedemonte y planicie aluvial. Las alturas promedian los 900 m.s.n.m.
- d) Un área montañosa oriental: representada por las Lomas de Los Pozos (1318 m.s.n.m.), que se constituye como barrera natural para las avenidas esporádicas que experimentan los arroyos, que nacen en la Sierra de Talacasto.

En las figuras N° 1 y 2 se muestran las cartas topográficas donde se puede apreciar las características de las serranías de la zona del camino de la Ruta Nacional N° 40 estudiado entre los puntos A, B y C.

En el sector considerado, el escurrimiento superficial está caracterizado por arroyos de régimen efímero en los que circulan agua esporádicamente, principalmente entre los meses de diciembre a marzo, cuyo único sistema de aporte son precipitaciones estivales de corta duración pero de carácter torrencial. Estas provocan una gran escorrentía superficial que origina crecientes cortas, violentas y con altas velocidades de escurrimiento.

En general son cuencas alargadas de dirección oeste-este, que favorecen una descarga rápida. La red de drenaje que es la distribución de los canales de escurrimiento superficiales y subsuperficiales poco profundos resulta de la combinación de factores litológicos, climáticos, geomorfológicos y de vegetación, entre otros.

2.1.4 Antecedentes climáticos

2.1.4.1 Clasificación Climática

La clasificación climática de la zona del trabajo, según el sistema del climatólogo Alemán W. Koeppen, basado en la temperatura, las precipitaciones y en concordancia con la vegetación, corresponde a un clima seco con la categoría de estepa.

El clima de estepa está relacionado con el desértico por su proximidad y características. Se trata en realidad de “núcleos secos”, de los cuales las estepas resultan ser variantes marginales.

La vegetación esteparia y de desierto consiste en un crecimiento diseminado de plantas con acentuadas características xerofíticas. La transición entre ambas formaciones

fitogeográficas está dada por la densidad de ejemplares y el porte de los mismos, estas variaciones están regidas por el factor precipitaciones.

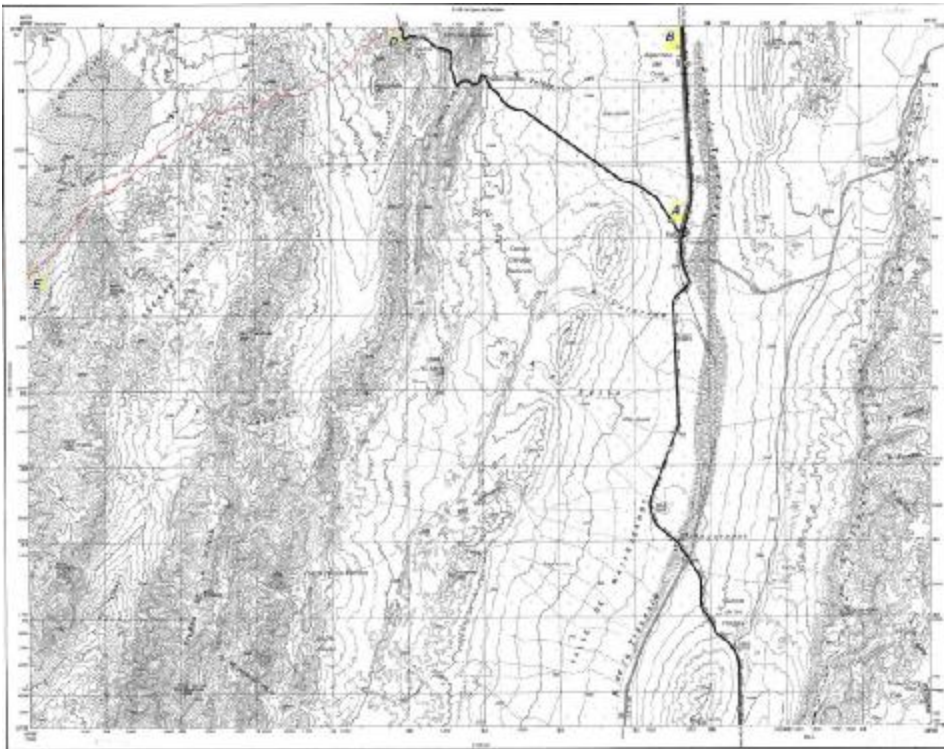


Figura Nº 1. Carta topográfica Talacasto

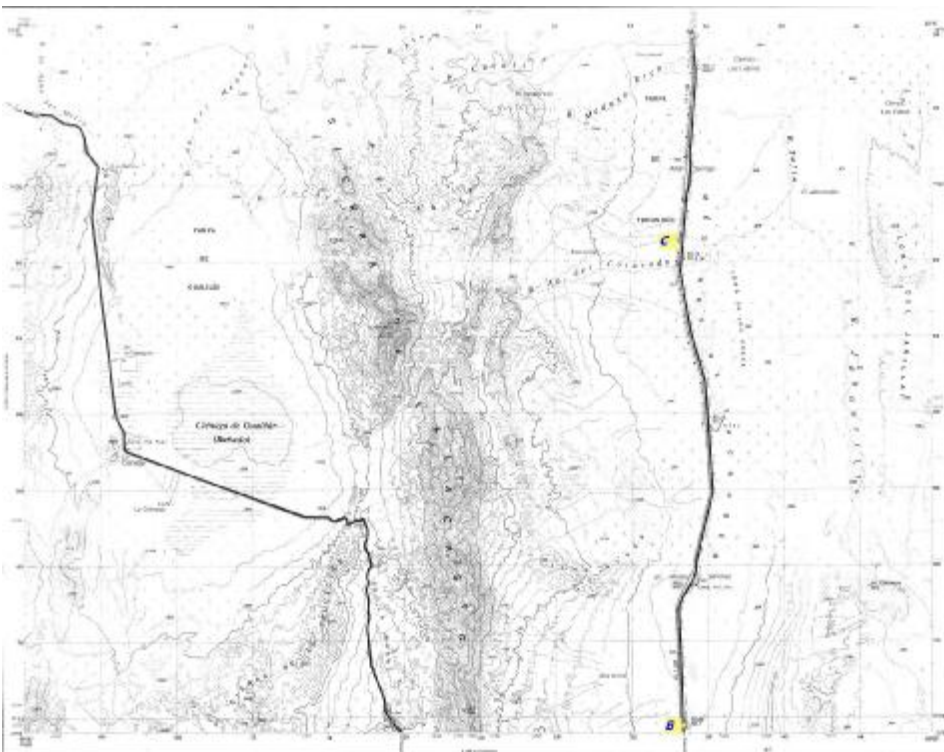


Figura Nº 2. Carta topográfica Sierra de Talacasto

2.1.4.2 Elementos Climáticos

Los datos meteorológicos de que se dispone sobre la zona son escasos. Los promedios de lluvia corresponden a periodos de años relativamente cortos y dispares. Las precipitaciones en mayor parte de la zona están alrededor de los 100 mm anuales. Las lluvias son máximas en los meses de enero a marzo y mínimas en julio y agosto, tanto en la zona llana como en la serrana.

Con respecto a la temperatura, en la zona serrana occidental, la media anual es de 12,4 grados C, la máxima media de 21.5° C y la mínima media de 2.9° C. Las nevadas son relativamente frecuentes en invierno, con un promedio de siete días de nevada por año y con máxima en julio y agosto.

Con respecto a la deficiencia de agua en la zona, se puede decir que esta varía entre 200 y 300 mm como promedio anual, lo que la hace una de las más áridas del país.

2.1.4.3 Rasgos Climáticos

Las temperaturas difieren tanto en la región, como a lo largo de todo el año. Si las planicies tienen elevadas temperaturas medias en verano, en las sierras y valles altos el verano es más corto y menos cálido; de ahí que las condiciones térmicas del verano en la zona del proyecto lo caracterizan como cálido con noches cálidas. Finalmente con respecto al régimen hídrico (la cantidad de humedad), se puede decir que se lo cataloga como Desértico Monzónico.

2.1.5 Antecedentes Hidrológicos

Para el estudio de los derrames que producen las cuencas en el momento que ocurren las precipitaciones, es necesario disponer de la información correspondiente a datos de lluvias registradas en las zonas más cercanas al tramo de ruta a estudiar.

Se consultó esta información en organismos provinciales y nacionales. Las siguientes entidades facilitaron los datos requeridos como ser: Departamento de Hidráulica de la Provincia, Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería de la U.N.S.J, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A).

El grupo de estaciones meteorológicas seleccionadas con registros de precipitaciones se muestran en la Tabla N° 1. Analizados los datos pluviométricos de las estaciones indicadas en esta tabla y por los antecedentes de los eventos ocurridos entre los años con que se cuentan los registros medidos, se decidió adoptar los valores de los

registros de las estaciones E3 y E4, representados en las Tablas N° 2 y 3, para realizar el trabajo propuesto.

Para la estación “Mogna” se tomaron los registros de las precipitaciones medias diarias anuales, y para la de “El Balde” se extrapolaron los datos en relación con los años de registro de la primera, para adoptar valores medios diarios de cada año.

Tabla N°1. Estaciones Metereológicas

Estación Metereológica	Nombre	Ubicación	Tipo de Precipitación	Periodo de Registro
N°			(mm)	Años
E1	Jáchal	Jáchal	Mensual	1967- 1982
E2	Punta del Agua	Jáchal	Diaria	1969 - 1988
E3	Mogna	Mogna (Jáchal)	Diaria	1967 -1990
E4	El Balde	Jáchal	Mensual	1964 - 1980
E5	Las Tapias	Albardón	Diaria	1983 - 1999
E6	(Fca Expofrut)	Albardón	Diaria	1992 - 2006
E7	Las Flores	Iglesia	Diaria	1976 -1994
E8	Villa Calingasta	Calingasta	Diaria	1977 - 1994

Tabla N° 2. Registros de la Estación metereológica “Mogna”

Estación “Mogna” Precipitaciones máximas diarias anuales (mm)		
Año	Día y Mes	Precipitación
1967	30 Diciembre	10
1968	17 Febrero	43
1969	05 Febrero	64
1970	01 Enero	27,5
1971	05 Marzo	9,6
1972	02 Enero	31,5
1973	20 Diciembre	26,2
1974	10 Marzo	29
1975	08 Noviembre	15
1976	07 Febrero	43,4
1977	26 Enero	26
1978	26 Febrero	25,5
1979	30 Enero	20
1980	07 Enero	24,1
1981	26 Marzo	32,1
1982	25 Enero	13,3

1983	31 Octubre	19,1
1984	10 Febrero	53,6
1985	30 Enero	18,5
1986	18 Julio	15,7
1987	07 Marzo	26,2
1988	10 Febrero	13,6
1989	25 Noviembre	8,2
1990	16 Enero	22,2

Tabla Nº 3. Registros de la Estación metereológica "El Balde"

Estación "El Balde" - Jáchal				
Precipitaciones máximas mensuales y diarias (mm)				
Año	Mes	Precipitación	Días de lluvia	Precipitación. 24 hs
1964	Octubre	29,2	2	25
1965	Noviembre	33,4	2	28
1966	Diciembre	31,8	3	18
1967	Diciembre	35	5	25
1968	Marzo	28,1	5	20
1969	Diciembre	51,4	4	40
1970	Marzo	5,2	3	3
1971	Noviembre	22,3	1	22,3
1972	Enero	17,3	5	12
1973	Diciembre	12,2	7	8
1974	Marzo	76,1	3	65
1975	Febrero	59,1	5	45
1976	Febrero	101,9	7	70
1977	Febrero	29,4	6	10
1978	Enero	23,1	6	13
1979	Enero	86,1	11	27

2.1.6 Análisis y definición de las cuencas de derrame.

La delimitación de cuencas y la red de drenaje se obtienen a partir de la interpretación y análisis digital de las imágenes satelitales. En la Figura Nº 5 se muestran las mismas definidas para el tramo de la Ruta Nacional Nº40 y en la Tabla Nº 4 se muestran los

valores geométricos determinados para ellas y los cauces. También se hace referencia con puntos relevados en campo con navegadores en coincidencia con la ubicación de las alcantarillas existentes.

Se procedió a efectuar las siguientes mediciones básicas: superficie de la cuenca (A), perímetro (P), longitud del cauce principal (L), cota máxima (H_{máx}), cota mínima (H_{mín}), desnivel del cauce principal (H_c) y pendiente media del cauce principal (pc).

Las altitudes se obtienen a partir de la información con curvas de nivel de las cartas topográficas, y el programa satelital Google Earth. En campo se realizó un análisis más detallado definiendo sus principales características topográficas, geológicas, fitográficas y de la red de drenaje.

En las figuras N° 6, 7 y 8 se muestran con más detalle algunas de las cuencas del tramo estudiado.

Tabla N° 4. Cuencas de derrame

Cuenca	Area	Area	Perímetro	Long cauce	Cota Máxima	Cota Mínima	Desnivel H	Pend. Cauce	Punto GPS Punto de ubicación de la alcantarilla
N°	Km ²	Ha	Km	Km	m	m	m	%	
1	54,584	5458,40	36,625	15,970	1680	1050	630	3,94	A01-009-A02-11 -A03-13-14-15
2	15,177	1517,71	17,575	6,390	1617	1122	495	7,75	16-A04-17
3	20,814	2081,37	22,020	9,950	1227	973	254	2,55	18-A05-019-020
4	31,916	3191,57	30,917	13,167	2516	936	1580	12,00	021-A06
5	23,644	2364,36	23,531	10,823	2618	1052	1566	14,47	A07-022-A08
6	10,709	1070,90	14,299	5,776	1177	918	259	4,48	A07
7	32,275	3227,47	38,527	17,134	1959	907	1052	6,14	A09
8	10,573	1057,29	16,163	6,590	1626	1077	549	8,33	A09-A11
9	25,632	2563,19	26,494	12,278	1626	902	724	5,90	A11
10	43,847	4384,75	28,807	9,390	2514	1198	1316	14,01	A10-A11-24
11	19,860	1985,98	20,272	5,544	1377	1002	375	6,76	24

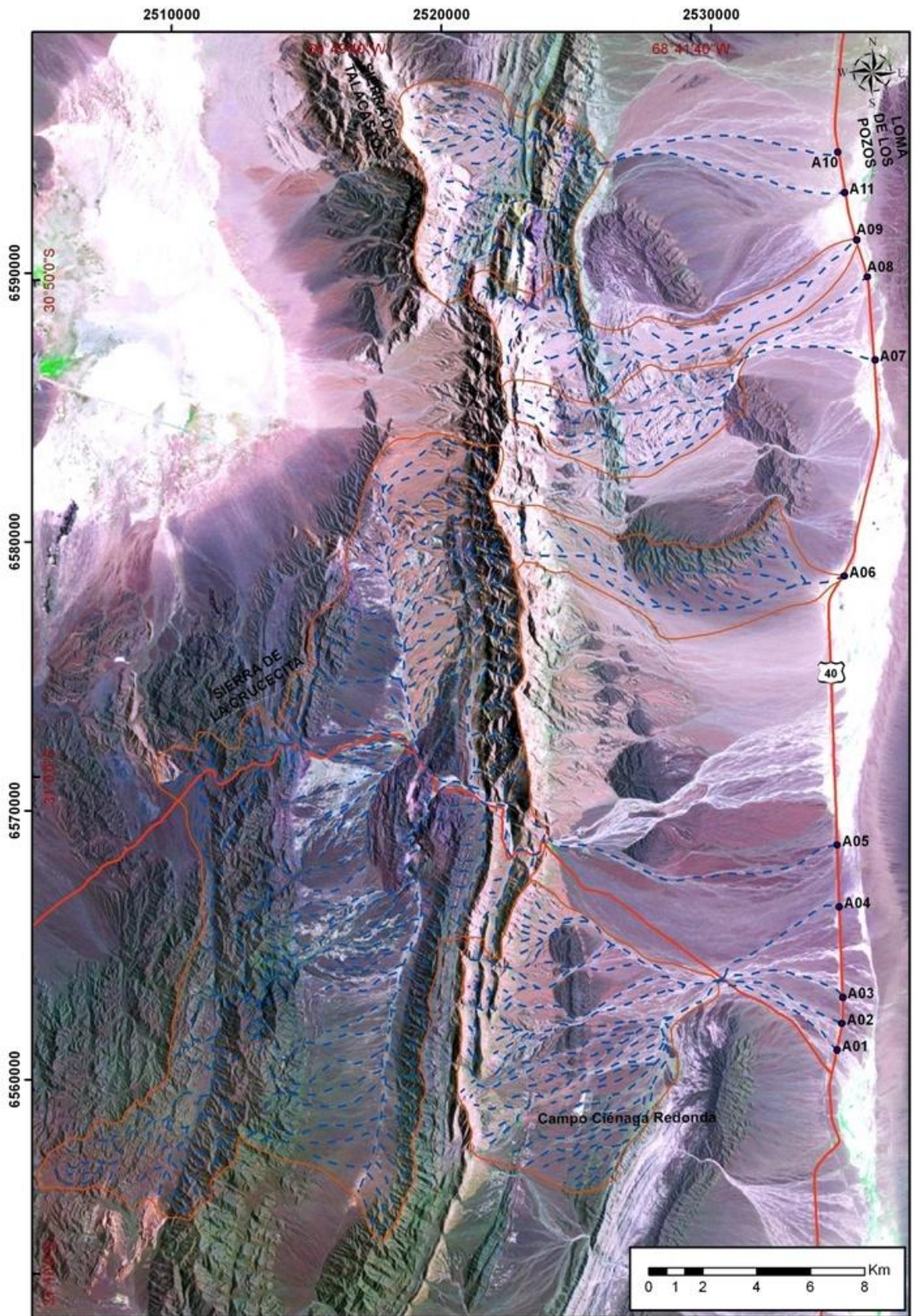


Figura N° 5. Cuencas del tramo de la Ruta Nac. N° 40

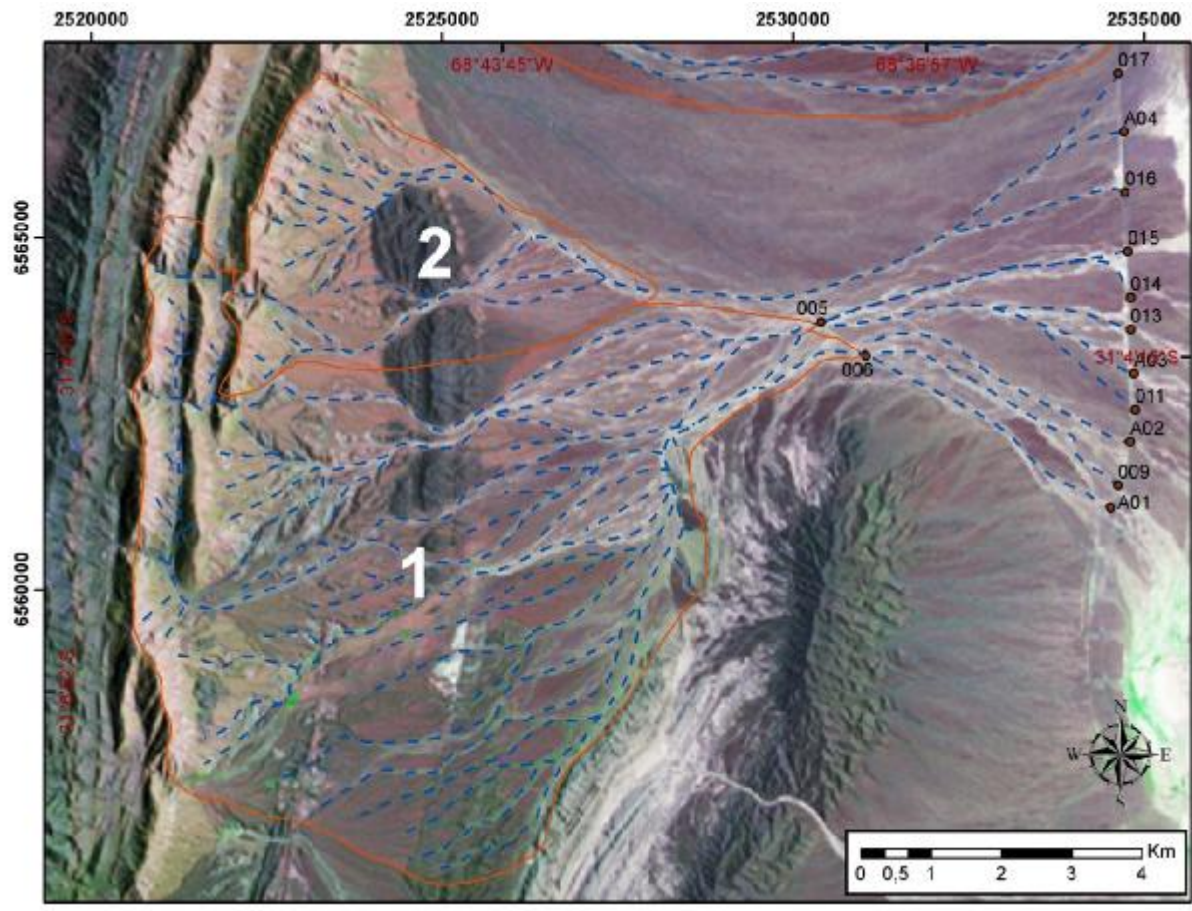


Figura N° 6. Cuencas N° 1 y 2.

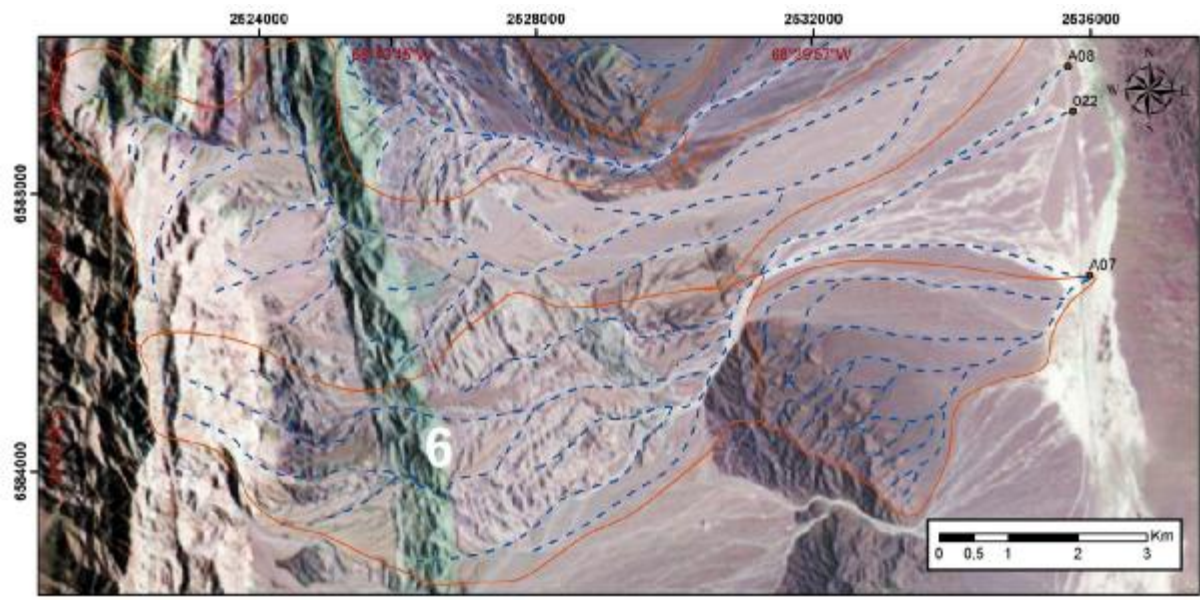


Figura N° 7. Cuenca N° 6

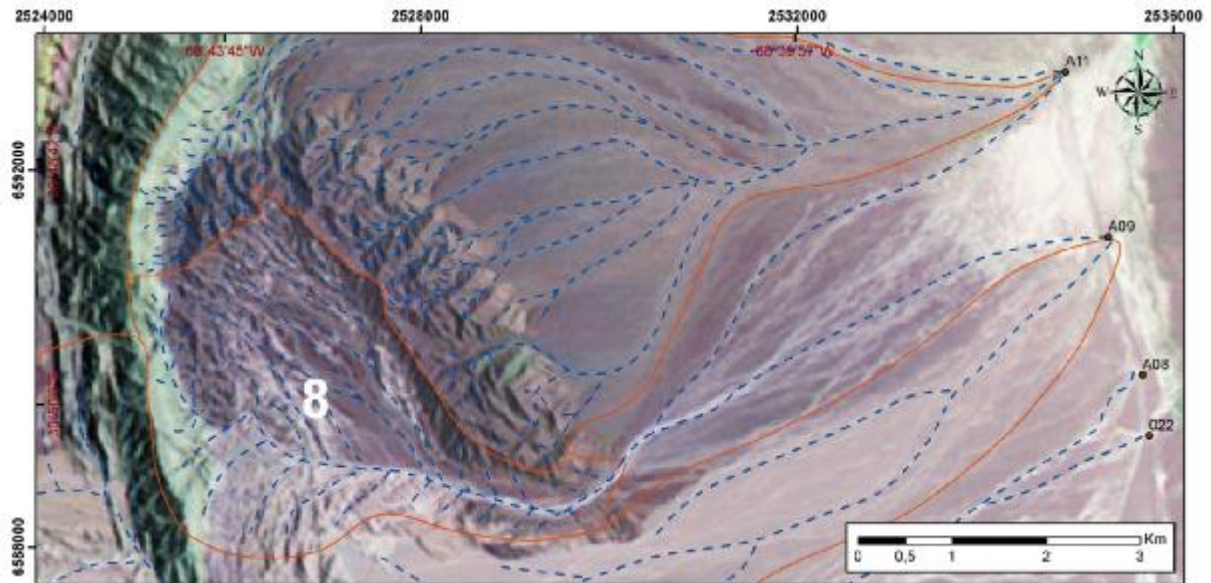


Figura N° 8. Cuenca N° 8.

2.2 Métodos para la determinación del derrame máximo superficial.

Con los registros de lluvias de las estaciones meteorológicas de las tablas N° 2 y 3 se determinan los caudales de diseño mediante los métodos empíricos propuestos: el Método Racional y el Método Racional Generalizado del Ing. Federico Rhule. Para el primer caso, los registros se procesan mediante el método estadístico de Gumbel para determinar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

2.2.1 Factores que inciden sobre el cálculo del caudal del proyecto

El caudal de diseño para el proyecto en un punto dado del cauce de una cuenca, está condicionado por tres factores principales: las características físicas de la cuenca que alimenta al cauce hasta el punto de control, la intensidad y la frecuencia de diseño.

Una característica física es la permeabilidad del suelo, vinculado a las geológicas del terreno y varía con el grado de humedad. Estos aspectos inciden en la elección de un correcto coeficiente de escorrentía "C", y del coeficiente de característica de los cauces "c" de los métodos de cálculo propuestos.

En el mismo orden de importancia está la intensidad de la lluvia, las tormentas de gran intensidad y poca duración son las que proporcionan escurrimientos con mayores caudales. Para determinar la intensidad de la lluvia es primordial fijar la frecuencia de los eventos para el diseño y el tiempo de concentración. La frecuencia representa el tiempo promedio de recurrencia en que una determinada intensidad de lluvia puede ser igualada o

sobrepasada al menos una vez durante ese periodo de tiempo. En este trabajo se adopta una frecuencia o periodo de recurrencia de 30 años, el tiempo de concentración tiene relación directa con la pendiente del cauce.

2.2.2 Método Racional Clásico

El Método Racional clásico se puede aplicar en el estudio hidrológico de las cuencas cuando se dispone de información de registros de precipitaciones pluviales y niveles. En este trabajo ajustaremos su expresión para aplicarla en el tramo de la ruta seleccionada, utilizando los registros de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas “Mogna” y “El Balde”.

La expresión genérica para el caudal de proyecto Q que descarga una cuenca, es la siguiente:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{K} \quad (1)$$

Siendo:

- Q = Caudal o descarga, en m³ por segundo
- C = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca
- A = Área de la cuenca, en ha.
- I = Intensidad (mm/hora); máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).
- K = Coeficiente para unificar unidades y resulte Q en m³/seg.

Sabemos que la fórmula racional expresa que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicado por el área de la cuenca. La duración mínima de la lluvia seleccionada deberá ser el tiempo necesario, en minutos, para que una gota de agua llegue a la estructura de drenaje desde el punto hidrológicamente más alejado de la cuenca. Este tiempo se llama tiempo de concentración (t_c).

2.2.2.1 Estudio de la Escorrentía

El coeficiente de escorrentía “C” tiene un valor inferior a la unidad, pero puede aumentar en un rango de cero hasta ser igual a 1, ya que representa la proporción de caudal precipitado que compone el caudal de derrame y se lo considera constante durante toda la duración del aguacero.

En la Tabla N° 5 se detallan los factores evaluados en campo para los diferentes cauces de las cuencas estudiadas. Los valores típicos utilizados para adoptar el valor de “C” se muestran en la Tabla N° 6, extractada del Manual de Carreteras de la Dirección

Nacional de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, en la Parte III, capítulo 3700, tabla 3702.503.B.

El uso de esta tabla requiere seleccionar el valor correspondiente a la situación de cada factor, e ir sumando las contribuciones de cada uno de ellos. Las recomendaciones anteriores son representativas de tormentas con períodos de retorno de T=10 años. Si se necesitan coeficientes de escorrentía de tormentas asociadas a mayores períodos de retorno, se recomienda multiplicar los resultados por 1,10; 1,20 y 1,25 para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente.

Tabla N° 6. Valores típicos para el coeficiente de escorrentía "C"

FACTOR	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0.28-0.35 Escarpado con pendientes mayores a 30%.	0.20 - 0.28 Montañoso con pendientes entre 10 y 30%	0.14 - 0.20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0.08 - 0.14 Relativamente plano con pendientes < al 5%
Infiltración	0.12-0.16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0.08 - 0.12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	0.06 - 0.08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0.04 - 0.06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura Vegetal	0.12-0.16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0.08- 0.12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura vegetal	0.06 - 0.08 Regula a buena, 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0.04 - 0.06 Buena a excelente, 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente
Almacenamiento Superficial	0.10-0.12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0.08 - 0.10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños, bien definidos, sin zonas húmedas	0.06-0.08 Normal, posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0.04-0.06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos

Para las cuencas estudiadas y definidas para la Ruta Nacional N°40, se adoptaron valores del coeficiente "C" como se muestran en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7. Coeficientes "C" adoptados.

Coeficientes "C".		
Cauces	1;2;3;4;5;6	7;8;9;10;11
Factor		
Relieve	0.14	0.14
Infiltración	0.06	0.08
Cobertura vegetal	0.08	0.08
Almacenamiento superficial	0.08	0.08
Total	0.38	0.40
Valor Adoptado	0.40	0.42

Tabla Nº 5. Relevamiento de los cauces.

Cauce	Progresiva en el eje	Cuenca	Esviaje Cauce	Ancho cauce	Pend. cauce	Prof. Aprox.	Cubierta vegetal	Tipo de suelo del fondo	Tamaño del arrastre	Observ.
Nº	(m)	Nº	Grados	(m)	(%)	(m)				
1	3518.68	1	90	12	5	0.4	Arbusto ralo	grava c/limo	0.1	
2	3519.90	1	90	10	3		nula	grava c/limo	0.1	
3	3520.68	1	90	9	6	0.5	nula	grava y arena	0.05	
4	3521.18	1	90	6	2	0.3	nula	grava y arena	0.05	
5	3521.73	1	90	7	3	0.5	nula	grava	0.05	
6	3522.38	1	90	6	3	0.5	nula	grava	0.1	
7	3522.88	1	90	6	3	0.5	nula	grava	0.1	
8	3523.58	1	90	10	2	0.6	nula	grava	0.1	
9	3524.25	2	90	10	2	0.6	nula	grava	0.1	
10	3525.23	2	90	10	2	0.7	nula	arenoso y grava	0.05	
11	3526.18	2	90	10	2	0.7	nula	arenoso y grava	0.05	
12	3527.13	3	90	10	2	0.7	nula	arenoso y grava	0.05	
13	3527.58	3	90	12	2	0.2	nula	grava c/limo	0.1	
14	3528.61	3	90	6	1	0.5	rala	grava c/limo	0.1	
15	3537.33	4	90	6	1.5	0.5	nula	arenoso	nulo	
16	3537.98	4	90	11	1	0.7	nula	arcilloso	nulo	
17	3546.33	5 y 6	90	14	1	1	nula	arenoso	nulo	
18	3548.78	6	90	6	1	0.5	nula	arenoso	nulo	
19	3549.48	6	80	14	1	1.2	nula	arenoso	nulo	
20	3550.95	7 y 8	90	12	1	1	nula	arenoso	nulo	
21	3552.88	8 ; 9 y 10	90	15	2	-	nula	arenoso limoso	nulo	
22	3554.47	10	90	14	1	1.2	nula	arenoso limoso	nulo	

2.2.2.2 Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia

Con los datos pluviométricos de las estaciones de “Mogna” y “El Balde” indicados en las Tablas Nº 2 y 3 se determinaron las curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia, para aplicarlo en el Método Racional.

Para determinar las intensidades de las cuencas estudiadas, se debe realizar un análisis estadístico de las precipitaciones diarias máximas anuales, mediante la asignación de probabilidades a las precipitaciones utilizando la fórmula de Weibull.

Este procedimiento se aplica a las dos estaciones meteorológicas elegidas y consta de los siguientes pasos:

- Ordenar en forma decreciente los datos de lluvias diarias máximas anuales para los años del periodo de registros seleccionados, tal como se muestra en la Tabla Nº 8.
- Calcular el periodo de retorno para cada uno de los datos con la ecuación:

$$T = \frac{N + 1}{n}$$

Donde:

- n: número de orden de la precipitación diaria máxima anual correspondiente al ordenamiento decreciente.
- N: número total de años de registros
- T: periodo de retorno, en años
- Xi: Precipitación diaria máxima anual
- Xm: Promedio aritmético de la muestra

En primer lugar se hizo la aplicación del procedimiento para la Estación “Mogna”.

Tabla Nº 8. Modelo de Gumbel, para la estación “Mogna”

CALCULO DE LA LLUVIA DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO: MODELO PROBABALÍSTICO DE GUMBEL				
Año	Nº	Xi(mm)	T	(Xi-Xm)²/(N-1)
1969	1	64	24.00	1380.93
1984	2	53.6	12.00	716.10
1976	3	43.4	8.00	274.23
1968	4	43	6.00	261.15
1981	5	32.1	4.80	27.67
1972	6	31.5	4.00	21.72
1974	7	29	3.43	4.67
1970	8	27.5	3.00	0.44
1973	9	26.2	2.67	0.41
1987	10	26.2	2.40	0.41
1977	11	26	2.18	0.71
1978	12	25.5	2.00	1.80
1980	13	24.1	1.85	7.51

1990	14	22.2	1.71	21.53
1979	15	20	1.60	46.79
1983	16	19.1	1.50	59.91
1985	17	18.5	1.41	69.56
1986	18	15.7	1.33	124.10
1975	19	15	1.26	140.19
1988	20	13.6	1.20	175.30
1982	21	13.3	1.14	183.33
1967	22	10	1.09	283.59
1971	22	9.6	1.09	297.22

Suma Xi=617.30 mm

Sx² = 79.97

Xm= 26.84 mm

Sx =8.94

Mediante el modelo probabilístico de Gumbel, a través de la siguiente ecuación se obtiene un valor de precipitación asociado a un periodo de retorno determinado:

$$P_t = \frac{-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)}{a} + m \quad (2)$$

Donde:

Pt: precipitación máxima anual (mm), para un periodo de retorno T.

T: periodo de retorno (años)

μ, a: parámetros de la distribución de Gumbel, calculadas con las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{S_n}{S_x} \quad ; \quad m = X_m - \left(S_x \cdot \frac{Y_n}{S_n}\right) \quad ; \quad S_x^2 = \frac{\sum (X_i - X_m)^2}{N - 1}$$

Siendo:

X_m: promedio aritmético de la muestra (mm)

S_x: desviación estándar de la muestra (mm)

Y_n: valor medio de la variable reducida, obtenido de la Tabla N° 12.

S_n: desviación estándar de la variable reducida, también obtenida de la Tabla N° 13.

Los valores de las variables Y_n y S_n son función del tamaño de la muestra.

Tabla N° 9. Parámetros de la variable reducida, distribución de Gumbel

Tamaño de la Muestra (n) años	Valor Medio Y _n	Desviación Estándar S _n
10	0.5	0.95
15	0.51	1.01
20	0.52	1.06
25	0.53	1.09
30	0.54	1.11
35	0.54	1.13
40	0.54	1.14
50	0.55	1.16

60	0.55	1.17
70	0.55	1.19
100	0.56	1.21
200	0.57	1.28

A partir de los valores indicados en la Tabla N° 9, se calculan los parámetros del modelo de Gumbel, cuyos resultados se muestran en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Parámetros característicos del modelo probabilístico de Gumbel

N	Xm	SUMA (Xi-Xm)^2	Sx2	Sx	Sn	Yn	a	u
23	26.84	4446.67	79.97	8.94	1.0811	0.5283	0.121	22.47

Posteriormente, se aplica la fórmula empírica de Grunsky para el cálculo de la intensidad media máxima de la lluvia de 24 horas, I_{24} , definiendo los periodos de retorno en 10, 25,30, 50 y 100 años, en función de P_t determinado con la expresión (2), como se muestra en la Tabla N° 11.

$$I_{24} = \frac{P_t \text{ (precipitacion maxima diaria para cada periodo de retorno)}}{24 \text{ horas}}$$

Tabla N° 11. Valor de precipitación asociado a cada periodo de retorno

Periodo de Retorno	P_t	I_{24} (mm/h)
10	45.19	1.71
20	54.04	2.05
25	55.74	2.11
30	60.48	2.29
50	66.89	2.53
100	45.19	1.71

Finalmente, se determinan las curvas de intensidad-duración-frecuencia, y se calculan con la siguiente ecuación las intensidades correspondientes a cada duración (I_t) utilizando el valor calculado de I_{24} , tal como se muestra en la Tabla N° 11.

$$I_t = I_{24} \left(\frac{24 \cdot 60}{t} \right)^{0.50} \text{ (mm / hr)}$$

Tabla N° 12. Intensidad (mm/h), para distintos tiempos de duración y periodos de retorno

T _c (min)	I (10 años)	I (25 años)	I (30 años)	I (50 años)	I (100 años)
5	31.95	38.21	39.41	42.77	62.25
10	22.60	27.02	27.87	30.24	44.02
15	18.45	22.06	22.76	24.69	35.94
20	15.98	19.11	19.71	21.38	31.12
30	13.05	15.60	16.09	17.46	25.41
40	11.30	13.51	13.94	15.12	22.01
50	10.10	12.08	12.46	13.52	19.68
60	9.22	11.03	11.38	12.35	17.97
80	7.99	9.55	9.85	10.69	15.56
100	7.15	8.54	8.81	9.56	13.92
120	6.52	7.80	8.05	8.73	12.71

Con los datos obtenidos en la Tabla N°12 se confeccionan los gráficos de I- D- F, donde en el eje de las ordenadas representa la intensidad de lluvia (I_t), y en el eje de las abscisas las diferentes duraciones "t" (min). Las curvas se muestran en el Gráfico N° 1.

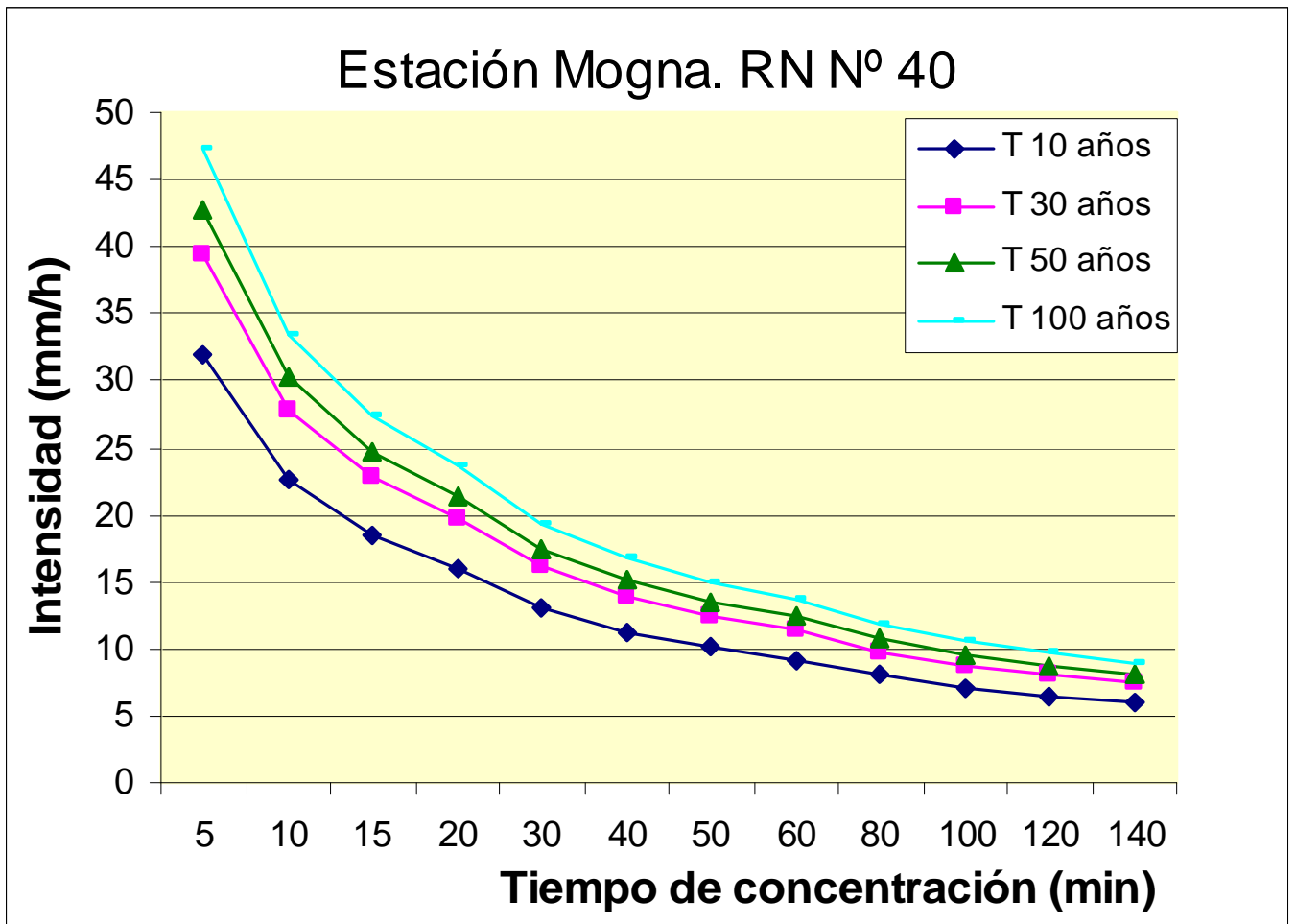


Gráfico N° 1. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

Aplicando el mismo procedimiento a partir de los datos recabados para la Estación “El Balde”.
Volcamos los resultados en las tablas siguientes.

Tabla N° 13. Intensidad de lluvia (mm/h)
Para distintos tiempos de duración y periodos de retorno

T_c (min)	I (10 años)	I (25 años)	I (30 años)	I (50 años)	I (100 años)
5	32.67	37.24	38.13	40.62	43.98
10	23.10	26.33	26.96	28.72	31.10
15	18.86	21.50	22.01	23.45	25.39
20	16.34	18.62	19.06	20.31	21.99
30	13.34	15.20	15.57	16.58	17.95
40	11.55	13.16	13.48	14.36	15.55
50	10.33	11.78	12.06	12.85	13.91
60	9.43	10.75	11.01	11.73	12.70
80	8.17	9.31	9.53	10.16	10.99
100	7.31	8.33	8.53	9.08	9.83
120	6.67	7.60	7.78	8.29	8.98

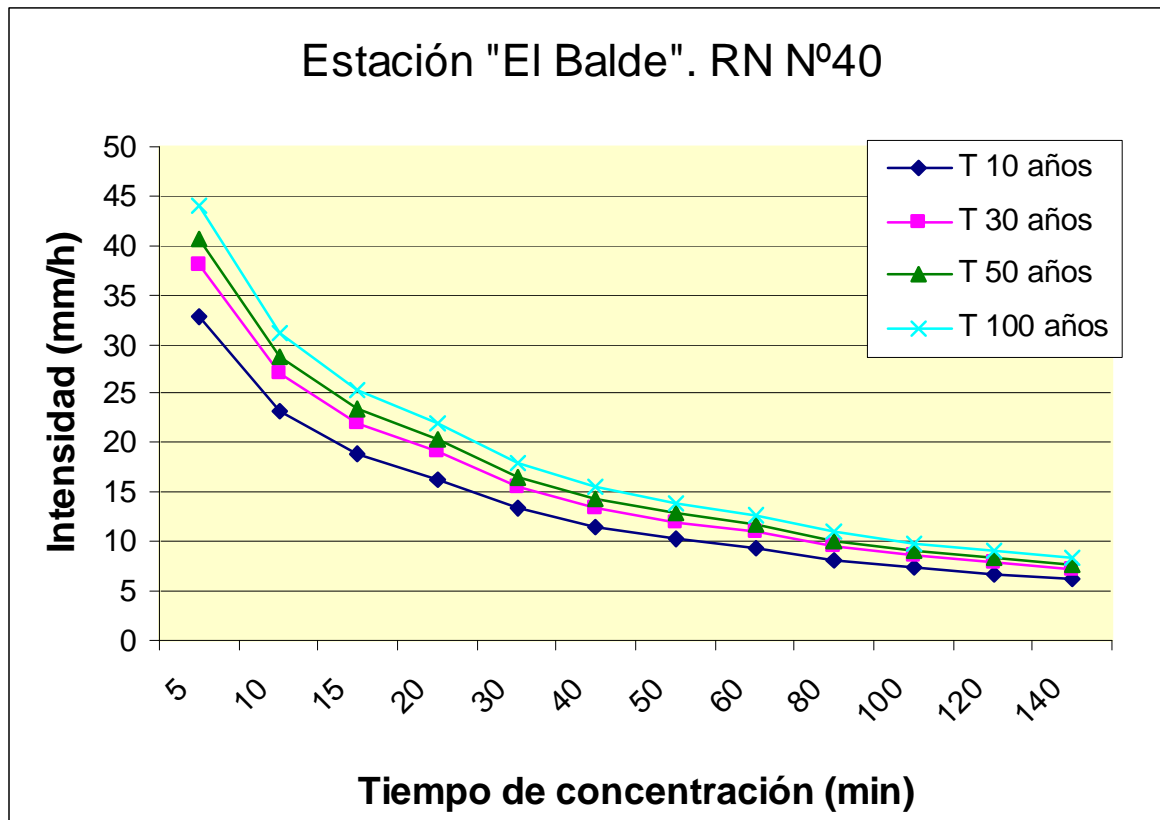


Gráfico N° 3. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

2.2.2.3 Tiempo de concentración

Es el tiempo requerido para que el agua caída en el punto hidrológicamente más lejano de la cuenca llegue hasta el punto de control. Existen diversas fórmulas empíricas para el cálculo de este parámetro, entre ellas se ha adoptado la de California Culvert Practice.

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (3)$$

Donde:

- tc: tiempo de concentración (minutos)
- L: longitud del cauce principal (m)
- H: diferencia de elevación entre el punto más alejado y el de control (m)

Para cada cuenca se determina el tiempo de concentración utilizando los datos obtenidos en la Tabla N° 4 del punto 2.1.3. Los valores de los tiempos de concentración se utilizan para calcular la intensidad de lluvia para cada cuenca.

2.2.2.4 Cálculo de los caudales de derrame

Con los valores determinados anteriormente aplicamos la expresión del método Racional **(1)** para calcular los caudales de derrame de las cuencas estudiadas.

La Tabla N°14, muestra los caudales obtenidos para las alcantarillas adoptando un periodo de recurrencia de 30 años, y los coeficientes de escorrentía "C" indicados en la Tabla N° 7 con los datos de precipitaciones de la Estación "Mogna".

La Tabla N°15, muestra los caudales obtenidos, adoptando un periodo de recurrencia de 30 años y los coeficientes de escorrentía "C" indicados en la Tabla N° 7, con los datos de precipitaciones de la Estación "El Balde".

2.2.3 El Método Racional Generalizado

Otro de los métodos para el cálculo de caudales propuesto para ajustar sus parámetros en este trabajo, es el Método Racional Generalizado del estudio sobre Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas, Ing. Federico Ruhle.

Este método, puede aplicarse en cuencas imbríferas de hasta 2000 Km² de superficie, longitudes del cauce principal de hasta 100 Km y tiempos de concentración de hasta 9 horas. Se puede extrapolar razonablemente hasta un tiempo de concentración de 12 horas.

Recordando la expresión genérica para el caudal de proyecto Q que descarga una cuenca, medido en el punto de intersección del su cauce principal con el camino, o punto de control es la siguiente:

$$Q = a \times b \frac{A \cdot E \cdot R_i}{K} \quad (4)$$

Siendo:

Q = Caudal o descarga, en m³ por segundo

E = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca

A = Área de la cuenca, en hectáreas (ha)

R_i = Intensidad en mm/hora; es la máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).

a = Coeficiente que tiene en cuenta la influencia sobre el derrame, de la menor intensidad de la precipitación areal, con relación a la intensidad puntual R que se pueda producir en algún punto determinado de la cuenca. Valor que en condiciones medias varía entre 0.85 y 0.93.

$b =$ Coeficiente, que tiene en cuenta la reducción del derrame por la retención del cauce.
Como es aproximadamente constante cualquiera sea el derrame en condiciones medias se ha tomado $b = 0.90$.

$K =$ Coeficiente cuyo valor es 360 para que Q resulte m^3/seg

Definidos los parámetros que intervienen en la expresión **(4)** tal cual está propuesto por método, se calcularon los caudales mediante la aplicación de planillas electrónicas. Los resultados se muestran en la Tabla N° 16.

Tabla N° 14. Cálculo de Caudales. Estación “Mogna”.

Alcantarilla	Progresiva	Cuenca	Esviaje del cauce	Area Cuenca	Longitud Cauce	Longitud Cauce	Desnivel "H" "	Tiempo de Concent.	Intensidad lluvia	Coef. De Escorrentía	Caudal Q
N°	(km)	N°	(grados)	(Ha)	(Km)	(m)	(m)	(tc)	(P/tc)	(C)	m ³
1	3518,68	1	90	1000,0	15,97	15970	700	118,92	7,28	0,4	6,14
2	3519,90	1	90	1000,0	15,97	15970	700	118,92	7,26	0,4	6,13
3	3520,68	1	90	500,0	15,97	15970	700	118,92	7,26	0,4	6,13
4	3521,18	1	90	700,0	15,97	15970	700	118,92	7,11	0,4	3,75
5	3521,73	1	90	500,0	15,97	15970	650	118,92	7,12	0,4	6,01
6	3522,38	1	90	600,0	15,97	15970	650	118,92	7,05	0,4	5,21
7	3522,88	1	90	600,0	15,97	15970	650	118,92	7,06	0,4	4,47
8	3523,58	1	90	560,0	15,97	15970	650	118,92	7,12	0,4	4,21
9	3524,25	2	90	400,0	6,39	6390	495	44,46	13,22	0,4	6,98
10	3525,23	2	90	400,0	6,39	6390	495	44,46	13,22	0,4	6,98
11	3526,18	2	90	730,0	6,39	6390	495	44,46	13,22	0,4	7,39
12	3527,13	3	90	750,0	9,26	9260	254	84,06	9,00	0,4	7,13
13	3527,58	3	90	1100,0	9,26	9260	254	84,06	9,00	0,4	10,45
14	3528,61	3	90	1100,0	9,26	9260	254	84,06	9,00	0,4	10,45
15	3537,33	4	90	800,0	8,15	8150	463	58,93	12,30	0,4	2,60
16	3537,98	4	90	800,0	8,15	8150	463	58,93	12,30	0,4	12,98
17	3546,33	5	90	1070,0	5,776	5776	259	50,77	12,37	0,4	13,97
17	3546,33	6	90	707,0	10,823	10823	1507	53,23	11,86	0,4	11,36
18	3548,78	6	90	800,0	10,823	10823	1507	53,23	12,08	0,4	3,83
19	3549,48	6	90	1000,0	10,823	10823	1507	53,23	12,08	0,4	17,85
20	3550,95	7	90	3227,0	17,134	17134	1052	103,91	8,65	0,42	8,94
20	3550,95	8	90	900,0	12,59	12590	721	84,19	9,61	0,42	6,08
21	3552,88	8	90	600,0	12,59	12590	721	84,19	9,61	0,42	9,12
21	3552,88	9	90	2564,0	12,3	12300	1207	67,21	10,75	0,42	29,10
21	3553,88	10	90	400,0	18	18000	1610	93,38	9,12	0,42	3,85
22	3554,47	10	90	2500,0	18	18000	1207	104,33	8,63	0,42	22,77

Tabla N° 15. Cálculo de Caudales. Estación “El Balde”.

Alcantarilla	Progresiva	Cuenca	Esviaje del cauce	Area Cuenca	Longitud Cauce	Longitud Cauce	Desnivel "H" "	Tiempo de Concent.	Intensidad lluvia	Coef. De Escorrentía	Caudal Q
N°	(m)	N°	(grados)	(Ha)	(Km)	(m)	(m)	(tc)	(P/tc)	(C)	m3
1	3518,68	1	90	1000,0	15,97	15970	700	118,92	7,82	0,38	5,94
2	3519,90	1	90	1000,0	15,97	15970	700	118,92	7,82	0,38	5,93
3	3520,68	1	90	500,0	15,97	15970	700	118,92	7,82	0,38	5,93
4	3521,18	1	90	700,0	15,970	15970	700	118,92	7,82	0,38	3,63
5	3521,73	1	90	500,0	15,97	15970	650	118,92	7,82	0,38	5,82
6	3522,38	1	90	600,0	15,97	15970	650	118,92	7,82	0,38	5,04
7	3522,88	1	90	600,0	15,97	15970	650	118,92	7,82	0,38	4,33
8	3523,58	1	90	560,0	15,970	15970	650	118,92	7,82	0,38	4,07
9	3524,25	2	90	400,0	6,39	6390	495	44,46	12,79	0,38	6,75
10	3525,23	2	90	400,0	6,39	6390	495	44,46	12,79	0,38	6,75
11	3526,18	2	90	730,0	6,39	6390	495	44,46	12,79	0,38	7,15
12	3527,13	3	90	750,0	9,260	9260	288	84,06	9,30	0,38	7,36
13	3527,58	3	90	1100,0	9,26	9260	288	84,06	9,30	0,38	10,80
14	3528,61	3	90	1100,0	9,26	9260	288	84,06	9,30	0,38	10,80
15	3537,33	4	90	800,0	8,15	8150	463	58,93	11,90	0,38	2,51
16	3537,98	4	90	800,0	8,150	8150	463	58,93	11,90	0,38	12,56
17	3546,33	5	90	1070,0	5,776	5776	259	50,77	11,97	0,38	13,51
17	3546,33	6	90	707,0	10,823	10823	1507	53,23	11,69	0,38	11,19
18	3548,78	6	90	800,0	10,823	10823	1507	53,23	11,69	0,38	3,70
19	3549,48	6	90	1000,0	10,823	10823	1507	53,23	11,69	0,38	17,27
20	3550,95	7	90	3227,0	17,134	17134	1052	103,91	8,36	0,40	9,11
20	3550,95	8	90	900,0	12,59	12590	721	84,19	9,29	0,40	6,19
21	3552,88	8	90	600,0	12,59	12590	721	84,19	9,29	0,40	9,29
21	3552,88	9	90	2564,0	12,300	12300	1207	67,21	10,40	0,40	29,63
21	3553,88	10	90	400,0	18	18000	1610	93,38	8,82	0,40	3,92
22	3554,47	10	90	2500,0	18	18000	1207	104,33	8,35	0,40	23,19

2.3 Trabajos de campaña

El objetivo de estas tareas es realizar mediciones en las obras de arte existentes del tramo de ruta seleccionada para una determinada zona con características hidrológicas similares. Estas alcantarillas deben tener una antigüedad que permita suponer que han funcionado bajo condiciones hidrológicas desfavorables y que puedan asimilarse a valores de máximos escurrimientos.

Preferentemente se seleccionarán aquellas alcantarillas que presenten evidencias de procesos erosivos y aquellas en las cuales los caudales escurridos puedan obtenerse por medio de vestigios y/o informaciones colaterales.

Se seleccionaron veintidós alcantarillas, las mismas se relevaron consignando una evaluación de: tipo de alcantarilla, dimensiones, estado de la estructura y condiciones de funcionamiento hidráulico; describiendo los procesos erosivos o de sedimentación, datos de máximas alturas de inundación (aguas arriba y aguas abajo del conducto) producto de máximas crecidas y comportamientos hidráulicos. También se relevaron y evaluaron las características topográficas y fitográficas de las cuencas de aporte como se explicó en el punto 2.1.6 de este trabajo.

Para tal fin es conveniente concretar los siguientes pasos:

- Relevamiento de campo
- Evaluación hidrológica
- Ubicación planialtimétrica de las obras de arte.
- Datos observados y medidos sobre la estructura.
- Funcionamiento hidráulico de los conductos

2.3.1 Relevamiento de campo

En esta etapa se planificó las visitas de campo a la zona seleccionada de la ruta para este estudio, donde se ubicaron y seleccionaron las alcantarillas que eran representativas para aplicar el método propuesto y determinar los parámetros necesarios para este objetivo.

En la Ruta Nacional N° 40 del tramo Talacasto - Tucunuco, las alcantarillas en forma permanente sufren deterioros por derrames en épocas de verano. Esta es una ruta de más de 50 años de construida, y a través del tiempo se ha mejorado la geometría del camino con la correspondiente ampliación de las obras de arte y de secciones en algunos casos.

Tabla N° 16. Cálculo de Caudales. Método de Ruhle. Periodo de Retorno T= 30 años; R_H=30mm/h

Alcantarilla	Progresiva	Cuenca	Esviaje del cauce	Area Cuenca	Longitud Cauce	Tipo de perfil Cauce	Desnivel "H" "	Tiempo de Concent.	Intensidad lluvia	Caract. de la Cuenca	Caudal Q
N°	(km)	N°	(grados)	(Ha)	(Km)		(m)	(tc)	(P/tc)	(C)	m ³
1	3518,68	1	90	1000	15,97	c	700	142,84	17,41	0,48	7,20
2	3519,90	1	90	1000	15,97	c	700	143,49	17,35	0,48	7,15
3	3520,68	1	90	500	15,97	c	700	143,35	17,36	0,48	7,16
4	3521,18	1	90	700	15,97	c	700	148,31	16,88	0,48	4,21
5	3521,73	1	90	500	15,97	c	650	147,85	16,93	0,48	6,78
6	3522,38	1	90	600	15,97	c	650	150,20	16,71	0,48	5,77
7	3522,88	1	90	600	15,97	c	650	149,94	16,73	0,48	4,96
8	3523,58	1	90	560	15,97	c	650	147,97	16,92	0,48	4,74
9	3524,25	2	90	400	6,39	c	495	54,14	33,29	0,35	9,71
10	3525,23	2	90	400	6,39	c	495	54,14	33,29	0,35	9,71
11	3526,18	2	90	730	6,39	c	495	54,14	33,29	0,35	10,29
12	3527,13	3	90	750	9,26	c	254	89,54	23,11	0,31	6,20
13	3527,58	3	90	1100	9,26	c	254	74,89	26,36	0,31	9,10
14	3528,61	3	90	1100	9,26	c	254	89,54	23,11	0,31	9,10
15	3537,33	4	90	800	8,15	c	463	60,80	30,65	0,35	11,70
16	3537,98	4	90	800	8,15	c	463	60,80	30,65	0,35	11,70
17	3546,33	5	90	1070	5,776	c	259	59,98	30,94	0,31	15,73
17	3546,33	6	90	700	10,823	c	1507	63,01	29,87	0,35	14,57
18	3548,78	6	90	800	10,823	c	1507	63,01	29,87	0,35	4,82
19	3549,48	6	90	1000	10,823	c	1507	63,01	29,87	0,35	22,48
20	3550,95	7	90	3227	17,134	c	1052	108,26	20,06	0,35	7,09
20	3550,95	8	90	900	12,59	c	721	90,59	22,91	0,35	5,79
21	3552,88	8	90	600	12,59	c	721	90,59	22,91	0,35	8,69
21	3552,88	9	90	2564	12,3	c	1207	75,93	26,09	0,35	32,05
21	3553,88	10	90	400	18	c	1610	99,86	21,31	0,49	5,57
22	3554,47	10	90	2500	18	c	1207	108,88	19,97	0,49	30,81

Debido a las características de la distribución de la red de drenaje de algunas cuencas de derrame, fue necesario para este análisis evaluar veintidós alcantarillas para optimizar la distribución de los cauces que aportan sus caudales sobre las mismas. Respecto a la tipología en su totalidad son tipo cajón de hormigón con secciones variables de acuerdo a planos tipos.

Paralelamente a la ruta se desarrolla las vías del ferrocarril, aguas arriba de las mismas se materializan obras de defensa y encauzamiento que distribuyen los caudales hacia las obras de arte propias de la línea férrea que se corresponden, en varios casos, con las alcantarillas de la Ruta Nacional N° 40.

En la Tabla N° 17 figuran los datos de la evaluación de campo. Se incluye información de las alcantarillas del ferrocarril a modo de considerar una referencia para el caudal que pasó por dicha obra.

2.3.2. Muestra fotográfica de las alcantarillas existentes.

Las fotografías N° 1 a 21 muestran las obras de arte que se estudiaron en este trabajo. En esta presentación se muestra una sola fotografía por alcantarilla, en la embocadura o a la salida de las mismas.

Tabla N° 17. Relevamiento de Alcantarillas.

Cauce	Progresiva RN N°40	Cuenca	Punto GPS	Esviaje conducto	Tipo de Alcantarilla Existente	Sección actual (Lx H)	Long. Cond.	Altura tirante a arriba	Altura tirante abajo	Pend. Cond.	Tipo Alcant. Exist. FFCC	Sección actual (Lx H)	Altura tirante a arriba	Observ.
N°	(Km)	N°	N°	(grados)		m	m	m	m	%		m	m	
1	3518,68	1	A01	90	O-41211	2(1.50x0.75)	12.00	1,20	0,60	2,5	-	-	-	Buen estado
2	3519,90	1	9	90	O-41211	2(1.50x0.75)	12.00	1,40	0,70	2,5	P. sellada	2,80x1,00	1,2	Buen estado
3	3520,68	1	A02	90	O-41211	4.00x1.25	12.00	1,20	0,50	3	-	-	-	Buen estado
4	3521,18	1	11	90	O-41211	2,00x1,25	12.00	1,40	0,60	2	P. sellada	3,00x1,50	-	-
5	3521,73	1	A03	90	O-41211	2(2.00x0.75)	12.00	1,40	0,40	3	P. sellada	2.00x1.00	0,60	Buen estado
6	3522,38	1	13	90	O-41211	4,00x1,20	14.00	1,30	0,40	3	Piedra y H°	3x1,50 3x1,00	-	-
7	3522,88	1	14	90	O-41211	2(2,00x0,75)	14.00	0,60	0,40	3	-	-	-	-
8	3523,58	1	15	90	O-41211	2(2,00x0,75)	14.00	1,00	0,40	2	P. sellada	3.00x1,50	0,50	erosión salida
9	3524,25	2	16	90	O-41211	2(2,00x0,75)	14.00	0,50	0,20	2	P. sellada	3.00x1,50	0,60	erosión salida
10	3525,23	2	A04	90	O-41211	2(2.00x0.75)	14.00	1,00	0,50	2	P. sellada	1.50x2.90	1,50	erosión salida
11	3526,18	2	17	90	O-41211	2(2.00x0.75)	14.00	0,65	0,30	2	P. sellada	3.00x1,50		erosión salida
12	3527,13	3	18	90	O-41211	2(2.00x0.75)	14.00	0,70	0,50	2	P. sellada	3.00x1,50	0,70	erosión salida
13	3527,58	3	A05	90	O-41211	2(2.00x1.50)	14.00	1,00	0,80	2	H°	7.00x1.70	1,00	-
14	3528,61	3	19	90	O-41211	2(2.00x1.00)	14.00	1,20	0,50	1	P. sellada	3.00x1,50		erosión salida
15	3537,33	4	21	90	O-41211	(2,00x1,25)	14.00	0,80	0,40	1,5	P. sellada	3.00x1,50	-	-
16	3537,98	4	A06	90	O-41211	2(2.00x1.50)	14.00	1,20	0,70	1	-	-	-	-
17	3546,33	5 y 6	A07	90	O-41211	2(4.00x2,00)	14.00	1,20	0,60	1,5	-	-	-	Embanque 0,20m
18	3548,78	6	22	90	O-41211	2x1.50,2x0,75	15.00	0,50	0,20	1,5	-	-	-	Embanque
19	3549,48	6	A08	80	O-41211	2(4.00x1,50)	13.00	1,20	0,70	1,5	H° y piedra	10.00x2.00	1,20	-
20	3550,95	7 y 8	A09	90	O-41211	6x1.50 + 2x1,50	13.00	0,70	1,00	1	H° y piedra	12.00x1.50	1,00	Embanque 0.50m
21	3552,88	8 ; 9 y 10	A11	90	Z-2915	2(5.00x3,00)	13.00	1,50	1,30	1	H° y piedra	2(5.00x2.00)	1,50	-
22	3554,47	10	A10	90	O-41211	7,00x1,50	13.00	1,40	1,30	1,5	H° y piedra	12.00x1.50	1,2	-



Fotografía N° 1. Vista aguas arriba. Progr. 3518.68 km.



Fotografía N° 2. Vista aguas abajo. 3519.90 km



Fotografía N° 3. Vista aguas arriba. Progr. 3520.68 km.



Fotografía N° 4. Vista aguas abajo. Progr. 3521.18 km.



Fotografía N° 5. Vista aguas abajo. Progr. 3521.73 km.



Fotografía N° 6. Vista aguas arriba. Progr. 3522.38 km.



Fotografía N° 7. Vista aguas arriba. Progr. 3522.88 km.



Fotografía N° 8. Vista Aguas arriba. Progr. 3523.58 km.



Fotografía N° 9. Vista aguas abajo. Progr. 3524.25 km.



Fotografía N° 10. Vista aguas abajo. Progr. 3525.23 km.



Fotografía N° 11. Vista aguas arriba. Progr. 3526.18 km.



Fotografía N° 12. Vista aguas arriba. Progr. 3527.13 km.



Fotografía N° 13. Vista aguas arriba. Progr. 3527.58 km.



Fotografía N° 14. Vista aguas abajo. Progr. 3528.61 km.



Fotografía N° 15. Vista aguas arriba. Progr. 3537.33 km.



Fotografía N° 16. Vista aguas arriba. Progr. 3537.98 km.



Fotografía N° 17. Vista aguas abajo. Progr. 3546.33 km.



Fotografía N° 18. Vista aguas abajo. Progr. 3548.78 km



Fotografía N° 19 Vista aguas abajo. Progr. 3550.95 km.



Fotografía N° 20 Vista aguas abajo. Progr. 3552.58 km.



Fotografía N° 21. Vista aguas abajo. Progr. 3554.47 km.

2.3.3 *Procesamiento de la información de campaña.*

Con la información obtenida en campo de las alcantarillas relevadas se realizó la determinación de los caudales evaluados como funcionamiento hidráulico de las alcantarillas tal como se expone en adelante.

2.3.3.1 *Verificación hidráulica de las obras de arte relevadas*

Para el presente proyecto se verificaron 22 alcantarillas, todas las obras de arte de la son de hormigón tipo cajón, la mayoría son según plano tipo O-41211 de la D.N.V.

Con los datos geométricos de las alcantarillas, vestigios de tirantes de agua, pendiente del conducto y aspectos de su funcionamiento, se determinaron los caudales que pudieron escurrir por los mismos y que en algunos casos sobrepasaron la altura de la obra.

Para el cálculo hidráulico se utilizó el software CULVERT MASTER (Diseño hidráulico de alcantarillas) según referencias, este software desarrollado para el diseño hidráulico de las alcantarillas tiene incorporado diferentes tipos que difieren muy poco con las secciones propuestas en los planos tipos de la D.N.V. Para alcantarillas de secciones mayores que las que admite este programa, se utilizó el software HYDRAIN, en su módulo HY8.

En la Tabla N° 18 se muestran los valores de los caudales calculados para las alcantarillas existentes. En la Figura N° 9 se muestra una salida de pantalla del programa CulvertMaster que se utilizó para el cálculo hidráulico de las alcantarillas.

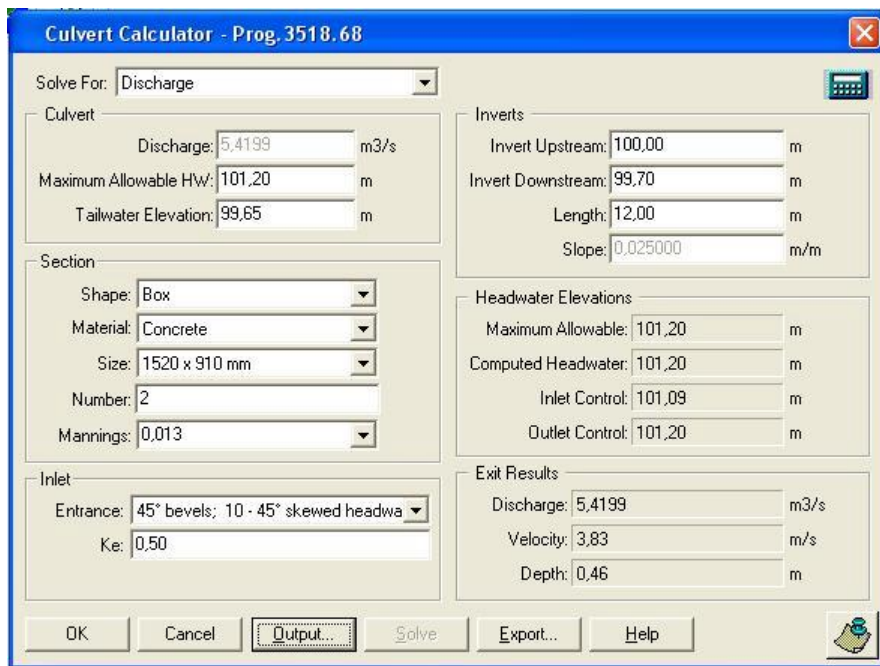


Figura N° 9. Pantalla del sistema CulverMaster.

2.4 Análisis de los Resultados

Como se ha expuesto en este trabajo una vez determinados los valores de los caudales tanto teóricos como los hidráulicos que pueden haber escurrido por las alcantarillas seleccionadas, se hace un análisis de los resultados apoyándose en la determinación de algunos parámetros para comparar los resultados de los caudales obtenidos en ambos casos.

Estos parámetros son los siguientes:

- 1) Rc: Relación de caudales, cociente entre el caudal hidrológico y caudal hidráulico.

$$Rc = \frac{\text{Caudal Hidrológico}}{\text{Caudal Hidráulico}} \quad \text{(I)}$$

- 2) PR: Promedio de la relación de caudales, cociente entre la suma de Rc de un análisis determinado y un número "n" de muestras empleados.

$$P_R = \frac{\sum Rc}{n} \quad \text{(II)}$$

- 3) ID: Índice de dispersión, sumatoria de los valores absolutos de Rc menos la unidad, dividido por el número "n" de la muestra.

$$ID = \frac{\sum |Rc - 1|}{n} \quad \text{(III)}$$

Tabla N° 18. Verificación Hidráulica de alcantarillas

Alcant.	Progresiva en el eje	Pendiente conducto	Longitud conducto	Diámetro y Sección Conducto	Verificación Hidráulica				Caudal Q	Velocidad a la salida del conducto	Número de Conductos	Alcantarilla tipo
					Tirante medido		Control de salida					
					En entrada HE	Hsalida	hc	Hs calc.				
N°	(m)	%	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	m ³	m/seg	n		
1	3518,68	2,5	12,00	2(1.50x0.75)	1,20	0,60	0,69	0,46	5,42	3,83	2	O-41211
2	3519,90	2,5	12,00	2(1.50x0.75)	1,40	0,70	0,78	0,54	6,61	4,01	2	O-41211
3	3520,68	3	12,00	4.00x1.25	1,20	0,50	0,77	0,52	7,80	4,07	1	O-41211
4	3521,18	2	12,00	2,00x1,25	1,40	0,60	0,74	0,52	4,28	3,84	1	O-41211
5	3521,73	3	12,00	2(2.00x0.75)	1,40	0,40	0,74	0,48	8,60	4,13	2	O-41211
6	3522,38	3	14,00	4,00x1,20	1,30	0,40	0,83	0,52	9,50	4,52	1	O-41211
7	3522,88	3	14,00	2(2,00x0,75)	0,70	0,40	0,46	0,27	4,13	3,64	2	O-41211
8	3523,58	2	14,00	2(2,00x0,75)	1,00	0,40	0,57	0,38	5,80	3,53	2	O-41211
9	3524,25	2	14,00	2(2,00x0,75)	0,50	0,20	0,34	0,22	2,70	2,92	2	O-41211
10	3525,23	2	14,00	2(2,00x0,75)	1,00	0,50	0,57	0,38	5,80	3,53	2	O-41211
11	3526,18	2	14,00	2(2,00x0,75)	0,65	0,30	0,37	0,24	3,10	3,00	2	O-41211
12	3527,13	2	14,00	2(2,00x0,75)	0,70	0,50	0,40	0,26	3,40	3,10	2	O-41211
13	3527,58	2	14,00	2(2,00x1,50)	1,00	0,80	0,57	0,44	5,80	3,07	2	O-41211
14	3528,61	1	14,00	2(2,00x1,00)	0,70	0,50	0,40	0,30	3,40	2,65	2	O-41211
15	3537,33	1,5	14,00	(2,00x1,25)	0,80	0,40	0,46	0,31	2,10	3,17	1	O-41211
16	3537,98	1	14,00	2(2,00x1,50)	1,20	0,70	0,69	0,54	7,60	3,30	2	O-41211
17	3546,33	1,5	14,00	2(4,00x2,00)	1,30	0,60	0,80	0,6	20,00	4,19	2	O-41211
18	3548,78	1,5	15,00	2x1.50,2x0,75	0,60	0,20	0,23	0,15	2,70	2,27	2	O-41211
19	3549,48	1,5	13,00	2(4,00x1,50)	1,20	0,70	0,69	0,5	13,00	3,59	2	O-41211
20	3550,95	1	13,00	6x1.50	0,70	0,40	0,41	0,35	6,00	3,24	1	O-41211
20	3550,95	1	13,00	2x1,5	0,70	0,40	0,40	0,17	2,40	3,13	1	O-41211
21	3552,88	1,5	13,00	2(5,00x3,00)	1,50	1,00	0,93	0,71	31,00	4,29	1	Z-2915
22	3554,47	1,5	13,00	7,00x1,50	1,40	0,50	0,80	0,66	19,50	4,32	1	O-41211

En este análisis se puede descartar previamente aquellos valores extremos que puedan ser considerados como erráticos (puede descartarse entre un 15 % a un 20% del total de la muestra). En nuestro caso se descartaron las alcantarillas 9, 11 y 14.

Podemos decir que un método hidrológico de cálculo de caudales será tanto aplicable en alguna zona cuanto menor sea el Índice de Dispersión y cuanto más cerca de la unidad está el promedio de la relación de caudales P_R .

Las Tablas Nº 19 y 20 muestran las relaciones (I) (II) y (III) para los caudales calculados con el Método Racional, y la Tabla Nº 21 para el Método Racional Generalizado.

Tabla Nº 19. Método Racional. Relaciones R_c , ID. T=30 años.

Alcantarilla	Caudal Teórico Q Estación "Mogna"	Caudales Del conducto Q	Intensidad lluvia (P/tc)	Relación de Caudales	$R_c - 1$	Valor Absoluto $R_c - 1$
Nº	m ³	m ³ /seg	mm/h	R_c		
1	6,47	5,42	7,28	1,19	0,19	0,19
2	6,45	6,61	7,26	0,98	-0,02	0,02
3	6,45	7,80	7,26	0,83	-0,17	0,17
4	3,95	4,28	7,11	0,92	-0,08	0,08
5	6,33	8,60	7,12	0,74	-0,26	0,26
6	5,49	9,50	7,05	0,58	-0,42	0,42
7	4,71	4,13	7,06	1,14	0,14	0,14
8	4,43	5,80	7,12	0,76	-0,24	0,24
10	7,34	5,80	13,22	1,27	0,27	0,27
12	7,50	3,40	9,00	2,21	1,21	1,21
13	11,00	5,80	9,00	1,90	0,90	0,90
15	2,73	2,10	12,30	1,30	0,30	0,30
16	13,66	7,60	12,30	1,80	0,80	0,80
17	26,67	20,00	12,37	1,33	0,33	0,33
18	4,03	2,04	12,08	1,98	0,98	0,98
19	18,79	13,00	12,08	1,45	0,45	0,45
20	16,61	8,40	9,81	1,98	0,98	0,98
21	46,51	31,00	10,75	1,50	0,50	0,50
22	25,17	19,50	8,63	1,29	0,29	0,29
			Suma	25,13		8,52

Rc	1,32
ID	0,45

Tabla N° 20. Método Racional. Relaciones Rc, ID. T=30 años

Alcantarilla	Caudal Teórico Q Estación "El Balde"	Caudales Del conducto "Q"	Intensidad lluvia (P/tc)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 1
N°	m ³	m ³ /seg	mm/h			
1	6,26	5,42	7,04	1,15	0,15	0,15
2	6,24	6,61	7,02	0,94	-0,06	0,06
3	6,24	7,80	7,02	0,80	-0,20	0,20
4	3,82	4,28	6,88	0,89	-0,11	0,11
5	6,12	8,60	6,89	0,71	-0,29	0,29
6	5,31	9,50	6,82	0,56	-0,44	0,44
7	4,55	4,13	6,83	1,10	0,10	0,10
8	4,28	5,80	6,89	0,74	-0,26	0,26
10	7,10	5,80	12,79	1,22	0,22	0,22
12	7,75	3,40	9,30	2,28	1,28	1,28
13	11,37	5,80	9,30	1,96	0,96	0,96
15	2,64	2,10	11,90	1,26	0,26	0,26
16	13,22	7,60	11,90	1,74	0,74	0,74
17	26,00	20,00	11,97	1,30	0,30	0,30
18	3,70	2,04	11,69	1,81	0,81	0,81
19	17,27	13,00	11,69	1,33	0,33	0,33
20	16,07	8,40	9,29	1,91	0,91	0,91
21	44,98	31,00	10,40	1,45	0,45	0,45
22	24,35	19,50	8,35	1,25	0,25	0,25
			Suma	24,42		8,13

R_C	1,29
ID	0,43

Tabla N° 21. Método Racional Generalizado. Relaciones Rc, ID. T=30 años.

Alcantarilla	Caudal Teórico Q	Caudal Del conducto Q	Coef. de Escorrentía E	Intensidad lluvia (P/tc)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 1
N°	m ³	m ³ /seg		mm/h			
1	7,20	5,42	0,21	17,41	1,33	0,33	0,33
2	7,15	6,61	0,21	17,35	1,08	0,08	0,08
3	7,16	7,80	0,21	17,36	0,92	-0,08	0,08
4	4,21	4,28	0,20	16,88	0,98	-0,02	0,02
5	6,78	8,60	0,20	16,93	0,79	-0,21	0,21
6	5,77	9,50	0,20	16,71	0,61	-0,39	0,39
7	4,96	4,13	0,20	16,73	1,20	0,20	0,20
8	4,74	5,80	0,20	16,92	0,82	-0,18	0,18
10	9,71	5,80	0,23	32,33	1,67	0,67	0,67
12	6,20	3,40	0,14	22,40	1,82	0,82	0,82
13	9,10	5,80	0,16	25,55	1,57	0,57	0,57
16	11,70	7,60	0,22	29,70	1,54	0,54	0,54
17	30,30	20,00	0,19	30,00	1,52	0,52	0,52
18	4,82	2,70	0,22	29,00	1,79	0,79	0,79
19	22,48	13,00	0,22	29,00	1,73	0,73	0,73
20	12,88	8,40	0,14	25,30	1,53	0,53	0,53
21	46,32	31,00	0,19	19,40	1,49	0,49	0,49
22	30,81	19,50	0,25	19,97	1,58	0,58	0,58
				Suma	23,97		7,74

R_C	1,33
ID	0,43

2.5 Ajuste de parámetros

En esta etapa del trabajo se ajustarán los parámetros seleccionados de las expresiones empíricas del Método Racional y Método Racional Generalizado. En las tablas precedentes se observa que se ha incorporado en el análisis de resultados una columna con los valores obtenidos por cada uno de los dos métodos propuestos, de parámetros tales como la Intensidad horaria de la lluvia I (en mm/h) para el Método Racional y el coeficiente de escorrentía E para el Método Racional Generalizado.

Para obtener el coeficiente de ajuste de estos parámetros, se grafican los valores de Rc vs. I para los datos de las Tablas N° 19 y 20, y de la relación de Rc vs E indicados en la Tabla N° 21.

En los siguientes gráficos se definen los coeficientes de ajuste para cada caso dibujando una recta paralela al eje de las abscisas que interpola la nube de puntos graficados para cada caso analizado.

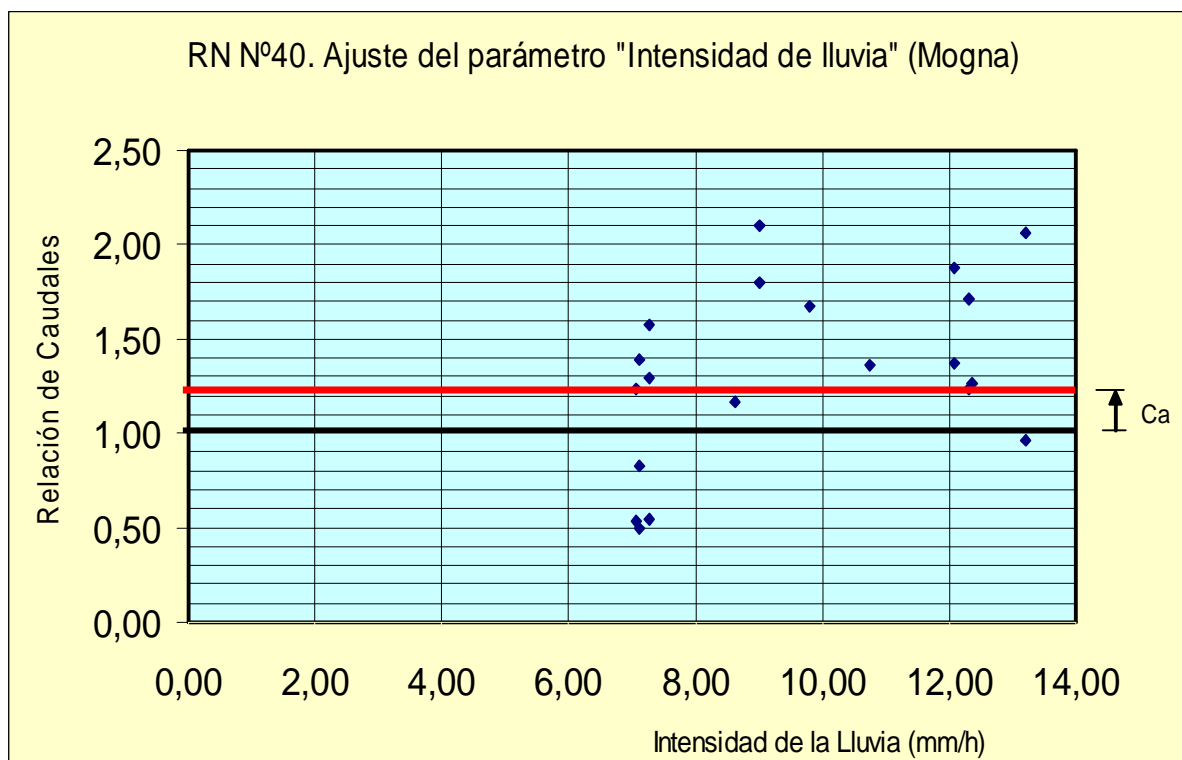


Gráfico N° 5. Método Racional. Ajuste de la Intensidad. T= 30 años.

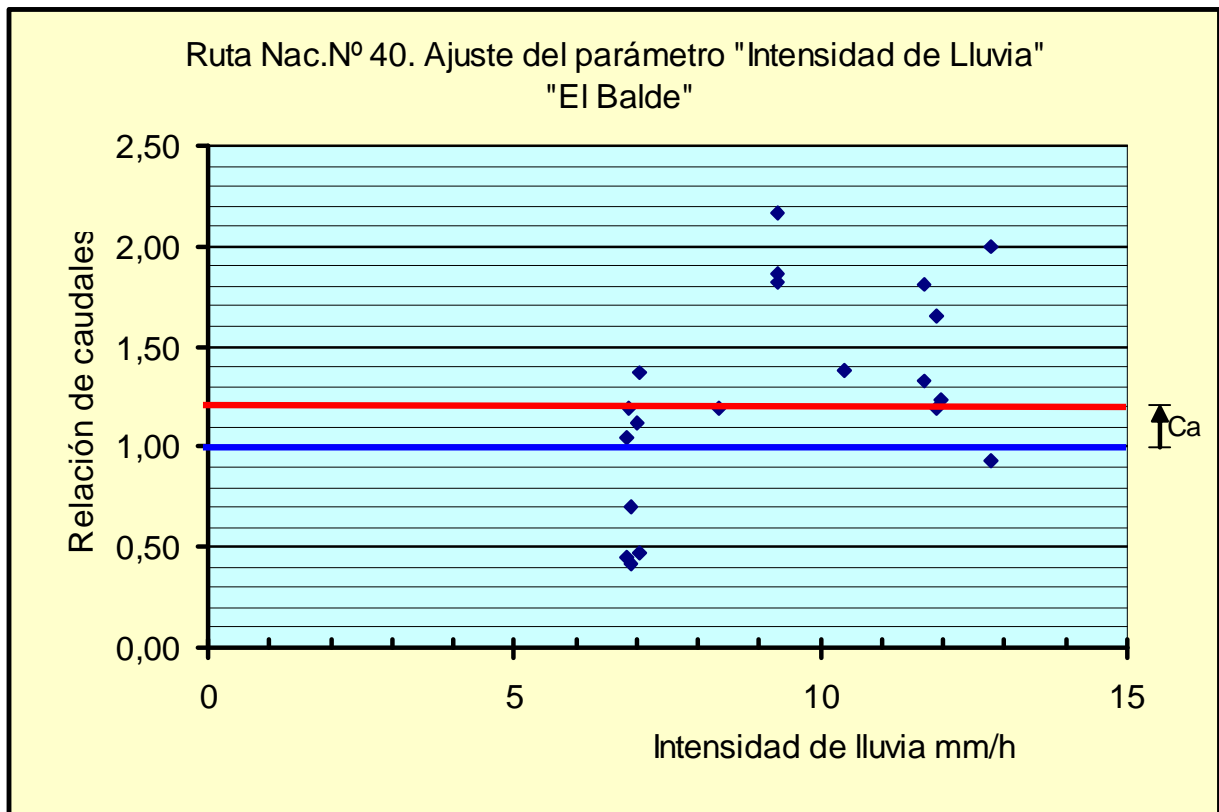


Gráfico Nº 6. Método Racional. Ajuste de la Intensidad. T= 30 años.

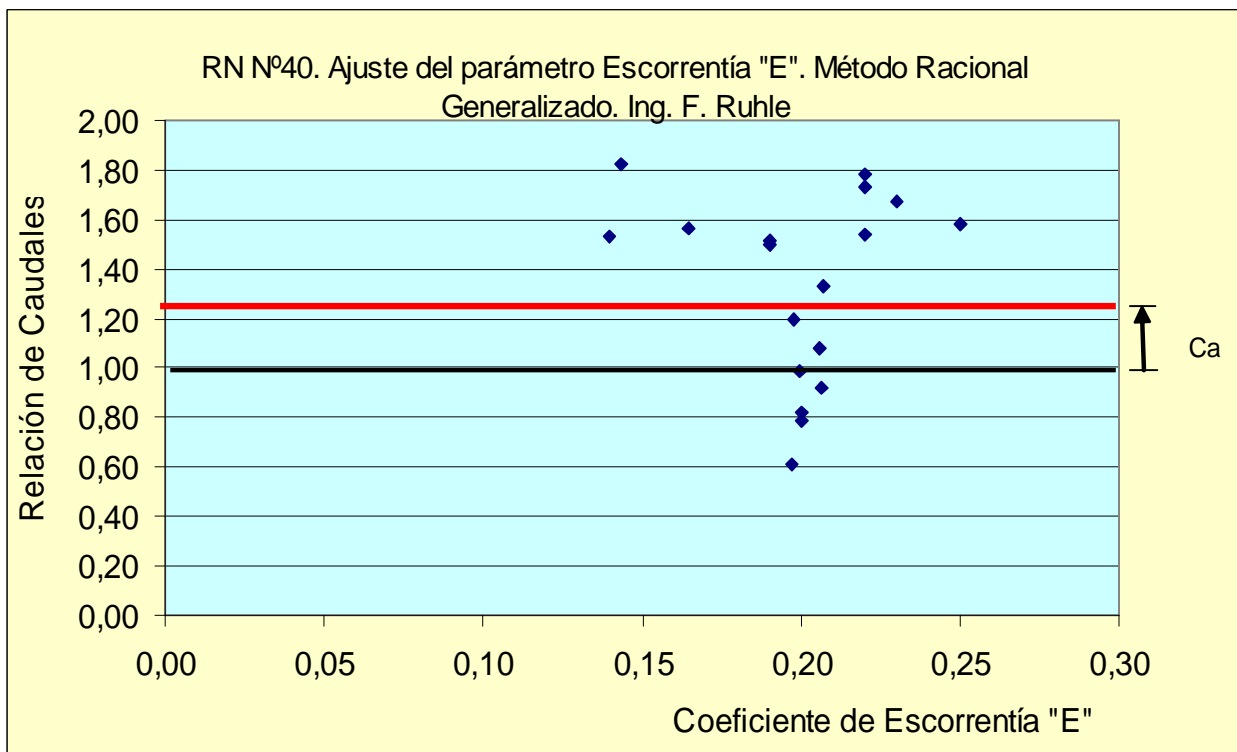


Gráfico Nº 7. Ajuste de Escorrentía E. T= 30 años.

Una vez definidos los “Ca” se adoptan los coeficientes de corrección “Cc” de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro N° 1. Coeficientes de corrección “Cc” adoptados

Ruta	Método	Estación	Parámetro	Ca	Cc
Nacional N° 40	Racional	Mogna	Intensidad (I)	0.22	0.8;0.75
Nacional N° 40	Racional	El Balde	Intensidad (I)	0.20	0.80
Nacional N° 40	Racional Generalizado		Escorrentía “E”	0.25	0.75

Estos valores de Cc se afectan a los de los parámetros Intensidad de lluvia y Escorrentía, resultando así los nuevos valores de P_R e índice de dispersión ID tal como se muestran en las Tablas N° 22 a 24. En dichas tablas se observa que al aplicar estos ajustes a los parámetros elegidos, los valores de P_R e ID se han reducido y ajustado a los valores recomendados, con una tendencia a la unidad para P_R y a cero para la dispersión.

Tabla N° 22. Método Racional. Ajuste de Intensidad de Lluvia. T= 30 años.

Alcant N°	Cc Adoptado	Caudal Teórico Estación “Mogna” m ³	Caudal Del conducto Q m ³ /seg	Intensidad lluvia (P/tc) mm/h	Relación de Caudales R_c	R_c - 1	R_c - 1 Valor Absoluto
1	0.8	5,17	5,42	5,82	0,95	-0,05	0,05
2	0.8	5,16	6,61	5,81	0,78	-0,22	0,22
3	0.8	5,16	7,80	5,81	0,66	-0,34	0,34
4	0.8	3,16	4,28	5,69	0,74	-0,26	0,26
5	0.8	5,07	8,60	5,7	0,59	-0,41	0,41
6	0.8	4,39	9,50	5,64	0,46	-0,54	0,54
7	0.8	3,77	4,13	5,65	0,91	-0,09	0,09
8	0.8	3,54	5,80	5,69	0,61	-0,39	0,39
10	0.8	5,87	5,80	10,57	1,01	0,01	0,01
12	0.75	5,63	3,40	6,75	1,66	0,66	0,66
13	0.75	8,25	5,80	6,75	1,42	0,42	0,42
15	0.75	2,05	2,10	9,22	0,98	-0,02	0,02
16	0.75	10,24	7,60	9,22	1,35	0,35	0,35
17	0.75	23,02	20,00	9,28	1,15	0,15	0,15
18	0.75	3,02	2,04	9,06	1,48	0,48	0,48
19	0.75	14,09	13,00	9,06	1,08	0,08	0,08
20	0.75	12,45	8,40	7,20	1,48	0,48	0,48
21	0.75	34,86	31,00	6,84	1,12	0,12	0,12
22	0.75	18,87	19,50	6,47	0,97	-0,03	0,03
				Suma	19.41		5.11

R_c	1.02
ID	0,26

Tabla N° 23. Método Racional. Ajuste de la Intensidad. T= 30 años.

Alcant	Cc Adoptado	Caudal Teórico Estación "El Balde"	Caudales Del conducto Q	Intensidad lluvia (P/te)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Rc - 1 Valor Absoluto
N°		m3	m3/seg	mm/h			
1	0.8	5,00	5,42	5,63	0,92	-0,08	0,08
2	0.8	5,00	6,61	5,62	0,76	-0,24	0,24
3	0.8	5,00	7,80	5,62	0,64	-0,36	0,36
4	0.8	3,06	4,28	5,51	0,71	-0,29	0,29
5	0.8	4,90	8,60	5,51	0,57	-0,43	0,43
6	0.8	4,25	9,50	5,46	0,45	-0,55	0,55
7	0.8	3,64	4,13	5,46	0,88	-0,12	0,12
8	0.8	3,43	5,80	5,51	0,59	-0,41	0,41
10	0.8	5,68	5,80	10,23	0,98	-0,02	0,02
12	0.8	6,20	3,40	7,44	1,82	0,82	0,82
13	0.8	9,09	5,80	7,44	1,57	0,57	0,57
15	0.8	2,12	2,10	9,52	1,01	0,01	0,01
16	0.8	10,58	7,60	9,52	1,39	0,39	0,39
17	0.8	20,80	20,00	9,57	1,04	0,04	0,04
18	0.8	3,12	2,04	9,35	1,53	0,53	0,53
19	0.8	14,54	13,00	9,35	1,12	0,12	0,12
20	0.8	12,85	8,40	7,43	1,53	0,53	0,53
21	0.80	35,98	31,00	8,32	1,16	0,16	0,16
22	0.80	19,48	19,50	6,68	1,00	0,00	0,00
				Suma	19.67		5.67

R_C	0,98
ID	0,28

Tabla N° 24. Método Racional Generalizado. Ajuste de la Escorrentía. T= 30 años

Alcant	Cc Adoptado	Caudal Teórico Q	Caudales Del conducto Q	Coef. de Escorrentía E	Relación de Caudales R _c	R _c - 1	R _c - 1 Valor Absoluto
Nº		m ³	m ³ /seg				
1	0.75	5,40	5,42	0,16	1,00	0,00	0,00
2	0.75	5,35	6,61	0,15	0,81	-0,19	0,19
3	0.75	5,37	7,80	0,15	0,69	-0,31	0,31
4	0.75	3,16	4,28	0,15	0,74	-0,26	0,26
5	0.75	5,10	8,60	0,15	0,59	-0,41	0,41
6	0.75	4,35	9,50	0,15	0,46	-0,54	0,54
7	0.75	3,72	4,13	0,15	0,90	-0,10	0,10
8	0.75	3,55	5,80	0,15	0,61	-0,39	0,39
10	0.75	7,28	5,80	0,17	1,26	0,26	0,26
12	0.75	4,65	3,40	0,11	1,37	0,37	0,37
13	0.75	8,95	5,80	0,12	1,54	0,54	0,54
15	0.75	2,05	2,10	0,17	0,98	-0,02	0,02
16	0.75	12,61	7,60	0,17	1,66	0,66	0,66
17	0.75	21,93	20,00	0,16	1,10	0,10	0,10
18	0.75	3,61	2,04	0,16	1,77	0,77	0,77
19	0.75	16,86	13,00	0,16	1,30	0,30	0,30
20	0.75	9,66	8,40	0,13	1,15	0,15	0,15
21	0.75	32,74	31,00	0,14	1,06	0,06	0,06
22	0.75	23,11	19,50	0,19	1,19	0,19	0,19
				Suma	20.15		5.61

R_c	0.92
ID	0.25

2.6 Conclusiones

Se han definido los valores de coeficientes de ajuste o corrección sugeridos como óptimos para calibrar los parámetros de intensidad de lluvia “I” y el coeficiente de escorrentía “E” para aplicarlos en las fórmulas de los Método Racional y del método Racional Generalizado del Ing. F. Rhule en el tramo de la Ruta Nacional N° 40.

Cuadro N° 2. Resumen de los Coeficientes de corrección “Cc” sugeridos.

Ruta	Método	Estación	Parámetro a calibrar	Cc	P _R	ID
Nacional N° 40	Racional	Mogna	Intensidad (I)	0.8;0.75	1.02	0.26
Nacional N° 40	Racional	El Balde	Intensidad (I)	0.80	0.98	0.28
Nacional N° 40	Racional Generalizado	---	Escorrentía “E”	0.75	0.92	0.25

Por los valores de P_R e ID expuestos en el Cuadro N° 2 como resultado de este trabajo, consideramos importante sugerir que para la Ruta Nacional N° 40 en el tramo Talacasto – Tucunuco se aplique el Método Racional con los datos de precipitaciones de la Estación Mogna, corrigiendo los valores de la intensidad horaria por un coeficiente Cc= 0.8 a todas las cuencas entre la progresiva 3518.50 km y la progresiva 3525.30 km, y por el coeficiente Cc= 0.75 entre esta última progresiva y la progresiva 3555.00 km.

3. Bibliografía

1. "Hidraulics Design of Highway Culverts", publicados en el Report N° FHWA – IP -85 – 15 de la Federal Highway Administration de Estados Unidos.
2. "Carreteras, Estudio y Proyecto". Capítulo 7. "Drenaje Superficial de Carreteras". Jacob Carciente. Venezuela.
3. "Proyecto Construcción y Conservación de Alcantarillas". Guillermo Cornero. Argentina
4. "Determinación del Derrame Superficial de las Cuencas Imbríferas". Desarrollo del Método General Generalizado. Ing. Federico Ruhle
5. "Unidad de Información Metereológica. Publicación N° 5". Instituto de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Ingeniería U.N.S.J.
6. "Manual de Carreteras". Volumen 3 (Instrucciones y Criterios de Diseño). "Diseño del Drenaje, Saneamiento Mecánica e Hidráulica Fluvial". Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas de Chile.
7. "Computer Applications in Hidraulic Engineering". Haestad Methods.Inc. Estados Unidos.
8. "Atlas Socioeconómico de San Juan 2002". CEFOCCA. Centro de Fotogrametría Cartografía y Catastro. Facultad de Ingeniería. U.N.S.J.
9. HY8. Automates Culvert Hydraulic Computations. Federal Highway Administration de los Estados Unidos.
10. Sofwares Global Mapper y Google Earth

4. Agradecimientos

Para la realización de este trabajo de investigación aplicada, agradecemos la colaboración del CICITCA de la Universidad Nacional de San Juan, la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, del Noveno Distrito de la Dirección Nacional de Vialidad y el I.N.T.A San Juan.