CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

1086 30918

VII

SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESQUEL

Anexo 1: Meteorología

Anexo 2: Hidrología

ANEXO 1

METEOROLOGIA

su cuenca de aporte es mucho mayor que las cuencas con influencia directa en los aluviones, por lo que el fenómeno meteorológico asociado con las crecidas mayores puede ser de diferentes características; esto significa que si bien los sistemas actuantes en toda la región son los mismos, la escala temporal varía sustancialmente por lo que en el caso del arroyo Esquel toma importancia, en la producción de crecidas, el efecto de derretimiento de nieve.

Para el estudio de la tormenta de proyecto en el caso de aluviones, se solicitó al Servicio Meteorológico Nacional la información pluviográfica correspondiente a la zona, recibiéndose con gran demora los registros incompletos y con errores, lo que determinó el uso posible de solo tres años; por este motivo se requirió información pluviométrica adicional que permitiera tener una cantidad suficiente de datos como para encarar los estudios estadísticos-matemáticos.

2. Análisis probabilístico de la información pluviométrica

La serie de datos pluviométricos está compuesta por 29 valores anuales de precipitación máxima diaria, observados en el Aeropuerto de Esquel.

Los valores antes mencionados se pueden considerar como variables aleatorias ya que no están correlacionados entre sí para distintos pasos de tiempos; esto permite encarar la búsqueda de la función de distribución que mejor represente

a la serie histórica. Se compararon los ajustes obtenidos para las siguientes funciones de distribución: Normal, Gumbel, Frechet, Galton, Gumbel y Normal aplicadas a las series formadas por las raíces cuadradas y las raíces cúbicas de los datos originales.

Los ajustes se compararon por medio del empleo de los test denominados Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov, mostrando que la mejor representación se obtenía con la función de distribución de Frechet.

De esta forma se calcularon las precipitaciones máximas diarias para distintos períodos de retorno obteniéndose los resultados que se indican en la Tabla 1.

TABLA 1

Recurrencia años	2	5	10	20	50	100	200	500	1.000
Precipitación diaria (mm)	42,6	63,2	82,1	105,5	146,0	186,1	237,2	326,5	415,7

Las cuencas en estudio son de un tamaño tal que requieren para su estudio intervalos de tiempo mucho menores que un día, razón por la cual se habían solicitado los datos pluviográficos que hubieran permitido un análisis de recurrencia para distintas duraciones; la calidad y cantidad de la información conseguida impidieron estos estudios debiéndose utilizar una metodología alternativa.

En los tres años más confiables de los registros se buscó la mayor tormenta, obteniéndose los máximos de precipitación para cada duración, como un porcentaje de la precipitación diaria. Para la tormenta de proyecto se consideraron distintas alternativas en cuanto a los momentos de ocurrencia de estos máximos, tomando como definitiva la distribución más desfavorable desde el punto de vista hidrológico.

La distribución porcentual de la precipitación diaria así encontrada se aplicó a los valores indicados en la Tabla 1.

Es necesario indicar las suposiciones que se efectúan en este tipo de tratamiento y que determina ciertas limitaciones en el estudio; principalmente el problema consiste en que se está suponiendo que la función de distribución que mejor ajusta es la misma para todas las duraciones, lo cual no es siempre así pudiéndose observar en la salida de computadora correspondiente las grandes diferencias en los valores obtenidos para las distintas funciones de distribución; sin embargo los resultados obtenidos están dentro del error tolerable para este tipo de estudios.

En la Tabla 2 se indica la distribución porcentual acumulada de la tormenta de proyecto.

A B L A N° 2

EMPO	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'
acu. lado	0,0221	0,0442	0,0773	0,1104	0,1545	0,2208	0,2870	0,3311	0,3642	0,3974	0,4194	0,4415

ANEXO 2

HIDROLOGIA

1. HIDROLOGIA.

1.1. Introducción al problema.

El cerro La Zeta se halla al Oeste de la ciudad de Esquel, que periódicamente sufre aluviones como resultado de precipitaciones que se descargan sobre el cerro y bajan en forma de escorrentía sobre la ciudad.

No existen registros sistemáticos ni esporádicos de alturas o caudales.

Se pretendió simular la ocurrencia de estos caudales para distintos tiempos de recurrencia, según las necesidades del responsable de los estudios hidráulicos.

Para ello se empleó un modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU., traducido a unidades del sistema métrico decimal por el Centro Regional Andino del Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, denominado Hymo-10. Este modelo, cuando se carece de datos hidrométricos puede derivar un operador lluvia escorrentía lineal, con el que es posible efectuar síntesis de hidrogramas por convolución de un determinado kernel o núcleo.

1.2. Análisis conceptual del modelo.

Genéricamente el hidrograma unitario es la función núcleo u $(t-\tau)$ de la integral de Duhamel.

$$q\ (t) = \int_{0}^{t} p\ (\tau)\ u\ (t-\tau)\ d\tau. \qquad (1)$$

donde

q (t)= Ordenadas del hidrograma (out put).
p (t)= lluvias, también en función del tiempo (input).

Si la precipitación es instantánea, y el volumen de ella asumido unitario, la respuesta en caudales se denomina hidrograma unitario instantáneo (H.U.I.); en la figura Nº 1 se esquematiza el proceso total de construcción del hidrograma por aplicación sucesiva de un H.U.I. a una serie (discreta) de valores de lluvia.

En el modelo Hymo - 10 las cuencas son asociadas a un sistema de embalses que se transfieren agua a través de cascadas, desde la primera (que recibe la precipitación) a la última que produce el hidrograma en la sección de control.

El sistema fue ideado por J. E. Nash (1959), siendo el modelo Hymo-10 una de las variantes de discretización que pueden encontrar.

Los embalses que se supone forman la cuenca tienen comportamiento lineal. Numéricamente esto se traduce en que

$$S = kq \qquad (2)$$

donde S= almacenamiento
k= constante de almacenamiento.

En ese embalse se cumple también la ecuación de continuidad.

$$\frac{dS}{dt} = p - q \qquad (3)$$

A partir de (2) y (3) es posible derivar la ecuación de vaciamiento del embalse dada por

$$q = q_o e^{-\tau/k} \qquad (4)$$

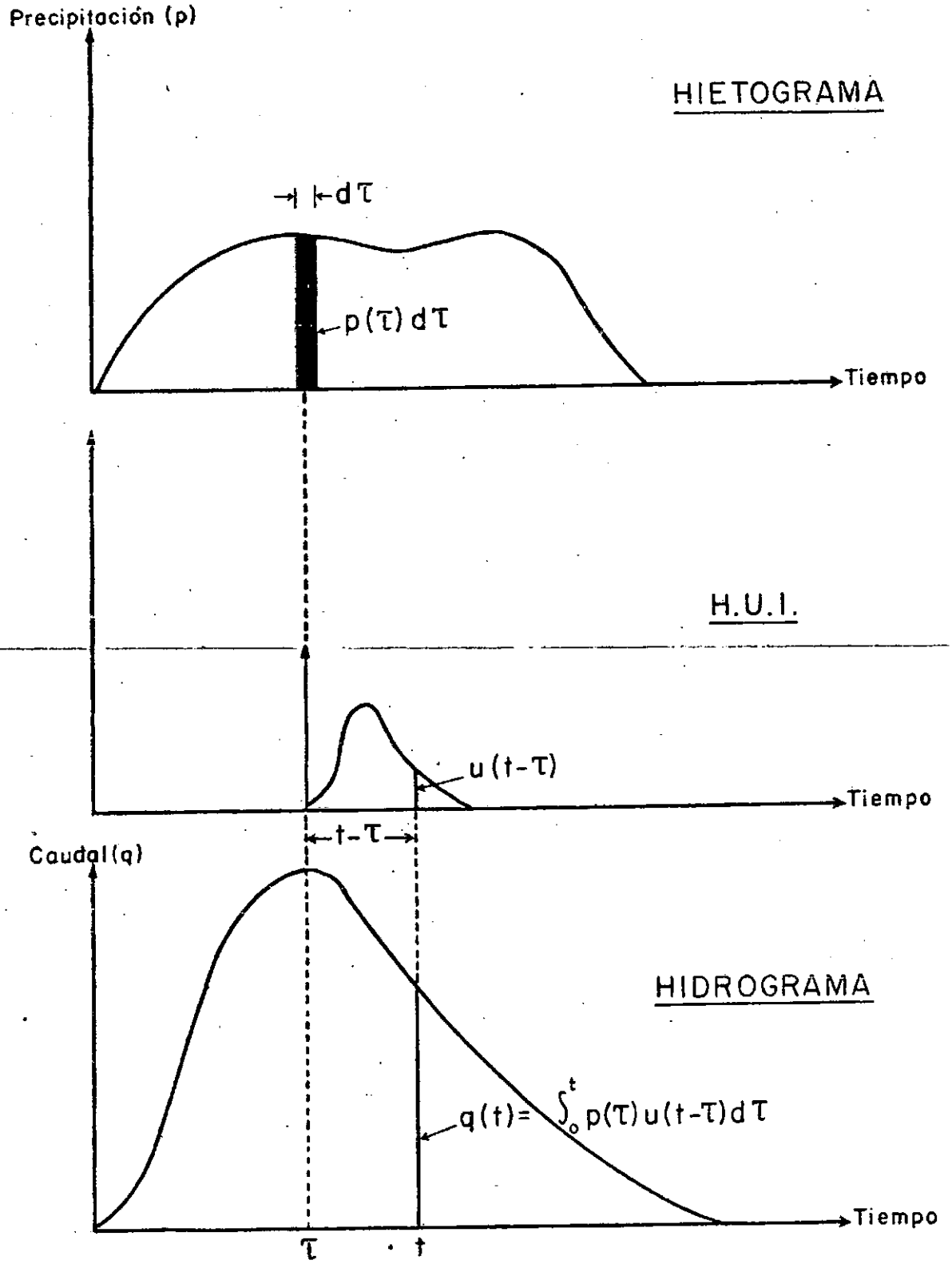

Precipitación (p)
HIETOGRAMA
dτ
p(τ) dτ
Tiempo
H.U.I.
u (t-τ)
Tiempo
t-τ
Caudal (q)
HIDROGRAMA
q(t)= ∫₀ᵗ p(τ) u(t-τ) dτ
Tiempo
τ
t

FIGURA Nº1

donde $\tau = t - t_o$

Siendo t_o el momento en que se produce un impulso de lluvia p (t_o) que llena el embalse en forma instantánea.

El núcleo, o función núcleo, de un embalse es producido por un almacenamiento unitario (S=1).

$$u\ (o,t) = q = \frac{1}{k}\ e^{-t/k}$$

Y si ahora se generaliza para un número n de embalses

$$U\ (o,t) = \frac{1}{k}\left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{(n-1)!}\ e^{-t/k} \qquad (6)$$

donde u(o,t)= ordenadas del hidrograma unitario.
Obviamente los n embalses poseen idéntica constante k de almacenamiento; ver ecuación (2).

Para poder considerar valores no enteros de n, Nash sustituyó el factorial de la ecuación (6) por una función gamma, con lo que

$$u\ (o,t) = \frac{1}{k}\left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{1}{\Gamma(n)}\ e^{-t/k} \qquad (7)$$

donde

$\Gamma(n) = \Gamma(n-1)\cdot(n-1)$ de modo que si n es entero $\Gamma(n) = (n-1)!$ y para valores no enteros se recurre a tablas o se integra numéricamente (cuando se trabaja por computadora).

En 1960 Nash derivó ecuaciones de correlación múltiple para ligar n y k con factores geomofológicos, de modo de poder calcu-

lar hidrogramas unitarios sintéticos.

$$k = 5{,}9485119 \times A^{0{,}231} \times \left(\frac{ht}{L}\right)^{-0{,}777} \times \left(\frac{L^2}{A}\right)^{0{,}124} \qquad (8)$$

$$tp = 1{,}4413144 \times A^{0{,}422} \times \left(\frac{ht}{L}\right)^{-0{,}46} \times \left(\frac{L^2}{A}\right)^{0{,}133} \qquad (9)$$

donde A= Area de la cuenca (km^2)

ht= desnivel entre el punto de máximo alejamiento del cauce principal y la sección de control (metros).

L= Longitud del cauce principal (kilómetros).

Con k y tp se calculan n, iterando la ecuación (10) hasta lograr precisión adecuada.

$$n = 1 + \frac{0{,}5}{\frac{k}{tp}\left[\ln\left(\frac{(1+\sqrt{1/(n-1)})}{1+\sqrt{1/(n-1)}+0{,}05}\right)\right. + 0{,}05} \qquad (10)$$

En definitiva se llega a una ecuación "de trabajo"

$$\frac{q}{qp} = \left(\frac{t}{tp}\right)^{n-1} e^{-(n-1)\left(\frac{t}{tp}-1\right)} \qquad (11)$$

donde qp es el caudal que corresponde a tp, cuyo cálculo se hace a través de (12), derivable a partir de (7).

$$\frac{qp \cdot tp}{A \cdot P} = \frac{(n-1)^n e^{-(n-1)}}{\Gamma(n)} \qquad (12)$$

En el modelo Hymo-10 la rama depletiva del hidrograma se calcula por una ley de decaimiento exponencial que depende de la constante de almacenamiento k.

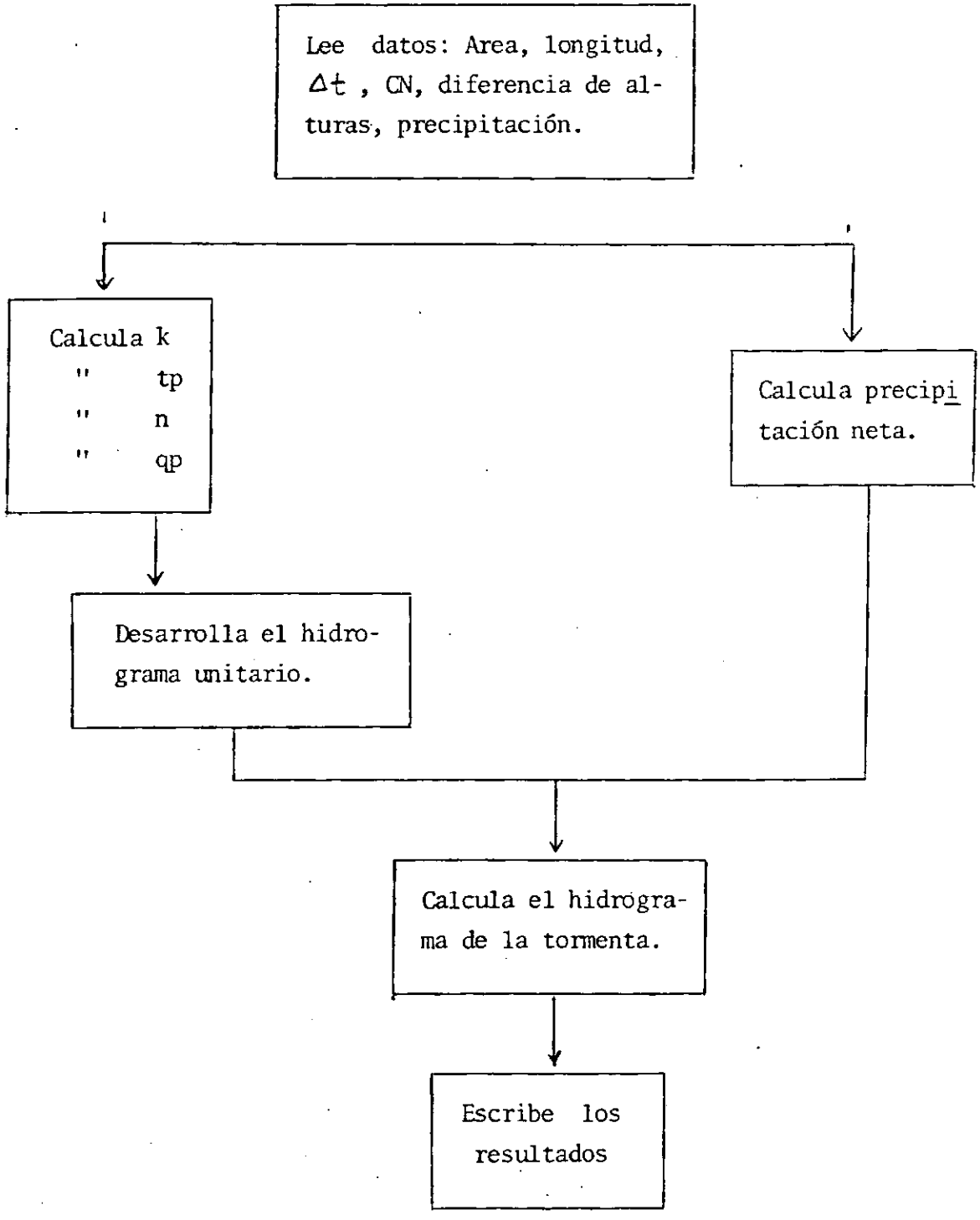
$$q_i = q_{i-1} e^{-(\Delta t/K)}$$

donde i-1 e i son dos instantes de tiempo sucesivos separados por el intervalo Δt.

Por último, para la síntesis de los hidrogramas producidos por tormentas reales, el modelo Hymo-10 calcula la precipitación neta a través del índice CN, vastamente aplicado para este tipo de cómputos.

La figura N° 2 es un diagrama simplificado para resumir todo lo anterior.

FIGURA N°2


Lee datos: Area, longitud, Δt , CN, diferencia de alturas, precipitación.
Calcula k
" tp
" n
" qp
Calcula precipitación neta.
Desarrolla el hidrograma unitario.
Calcula el hidrograma de la tormenta.
Escribe los resultados

1.3. Datos empleados.

Las cuencas del cerro La Zeta se dividieron en cuatro, denominadas Cuenca N, Cuenca SB, Cuenca SA, y Cuenca C; se las advierte en el Plano N° 10.

Los datos cartográficos empleados para el cómputo se exhiben en el Cuadro Nº 1, obtenidos de una carta escala 1/2.500, suministrada por la Municipalidad de la Ciudad de Esquel.

CUADRO Nº 1

Información cartográfica empleada

Subcuenca	Area (km2)	Longitud cauce principal (km)	Desnivel (m)
N	0,607	1,35	200
C	0,475	1,51	236
SA	0,283	0,95	240
SB	1,575	1,87	260

Se adoptó un intervalo de tiempo de cinco minutos, aplicando valores de precipitación recurrentes cada 2,5, 10,20,50, 100 y 200 años según se calcularon en el capítulo meteorología.

Atento a lo dicho en ese Capítulo, se consideró un valor de CN = 99; para responder a la posible situación de presentarse lluvias intensas cuando las subcuencas presentan hielo en superficie.

1.4. Resultados obtenidos.

Los resultados de caudal pico y volumen obtenidos por aplicación del modelo Hymo-10 en las condiciones descriptas se presentan en el Cuadro Nº 2.

CUADRO Nº 2

Resultados Obtenidos

Caudales pico (m3/seg) y volumen (Hm3)

SUB-ENCA	RECURRENCIA													
	2 años		5 años		10 años		20 años		50 años		100 años		200 años	
	Qp	Vol.	Qp	Vol.	Qp	Vol.	Qp	Vol.	Qp	Vol.	Qp	Vol.	Qp	Vol.
N	4,0	0,010	6,1	0,015	8,0	0,020	10,5	0,026	14,6	0,037	18,7	0,048	23,8	0,060
C	3,1	0,008	4,8	0,012	6,3	0,016	8,2	0,021	11,6	0,029	14,8	0,037	18,9	0,048
SA	2,2	0,004	3,4	0,007	4,4	0,009	5,7	0,012	8,0	0,017	10,2	0,022	13,0	0,028
SB	9,5	0,025	14,7	0,039	19,4	0,052	25,2	0,069	35,4	0,097	45,3	0,125	57,9	0,160

El cuadro N° 3 exhibe los volúmenes escurridos en 15,30 y 45 minutos centrados en el pico del hidrograma.

CUADRO N° 3

Volúmenes (en metros cúbicos) del pico del hidrograma

Recurrencia (años)	CUENCA N			CUENCA C			CUENCA SA			CUENCA SB		
	Duración (min.)			Duración (min.)			Duración (min.)			Duración (min.)		
	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45
2	3420	6060	7890	2670	4740	6150	1770	3000	3900	8280	15000	19500
5	5250	9090	11310	4140	7320	9430	2730	3990	5550	12690	19230	30120
10	6870	12210	15930	5400	9570	12450	3540	5190	7230	16680	30240	35850
20	9000	15930	20790	7050	12510	16380	4620	6780	9420	21720	39360	51990
50	12570	22230	26430	9900	17490	22980	6510	10980	13230	30330	54930	72930
100	16050	28440	37380	12630	22380	29460	8280	14010	18240	38820	70320	93480
200	20430	36180	47430	16110	28530	37680	10590	17910	23349	49590	89850	119670