

Application de la formule de Manning et Strickler à des projets d'aménagement en Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Dans le sud de la Côte d'Ivoire les sols hydromorphes minéraux ou organiques couvrent 100 à 200 000 ha. Ils occupent généralement le fond des thalwegs en bordure de lagune. Le drainage naturel y est faible en raison de l'obstruction des cours d'eau ou des marigots. Le maintien d'une nappe quasi permanente à la surface du sol fait de la majorité de ces sols des zones très peu exploitées par les villageois. L'expérience acquise sur ces types de sols sur la station de La Mé a fait ressortir l'intérêt de leur mise en culture par le palmier à huile. Cette mise en valeur nécessite l'établissement d'un réseau d'assainissement constitué de fossés dont les dimensions dépendent de nombreux paramètres, en particulier la pente et les quantités d'eaux à évacuer.

Le présent article a donc pour objet de décrire la méthode de calcul des dimensions des fossés.

I. — LES ÉTUDES PRÉALABLES

Elles apportent une meilleure connaissance du secteur à aménager et de son environnement. Les études topographiques et pédologiques seront faites sur un réseau de layons d'observations. La structure et la densité des layons sont fonction de la précision souhaitée, des hétérogénéités de terrain et de la forme de la zone prospectée.

1) L'étude topographique.

Elle permet une représentation graphique du relief et la connaissance des pentes naturelles. L'orientation du parcellaire et des collecteurs du réseau d'assainissement sera choisie sur cette base.

2) L'étude pédologique.

Son but est de caractériser les unités de sols rencontrées. Leur structure et leur texture conditionnent le calibrage des drains.

3) L'étude hydrographique.

Elle concerne la description des écoulements temporaires et permanents (marigots-lignes de points bas) rencontrés lors de la prospection.

Les rivières, fleuves ou plans d'eau permanents servent en général d'exutoires finaux au réseau d'assainissement.

Les données concernant les variations antérieures de leurs niveaux (relevés d'échelles limnimétriques, relevés de débits, régimes saisonniers...) permettent de fixer les limites possibles de l'aménagement.

4) Etude de la pluviosité.

Les relevés météorologiques servent à définir la pluie critique pour la durée admissible de submersion de la culture. Sa période de retour sera choisie avec une précision d'autant meilleure que la durée des observations sera importante.

II. — BASES DE CALCUL DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT

1) Exigences de la culture.

Deux paramètres sont particulièrement importants :

— la durée admissible de submersion représente le nombre de jours au-delà duquel les risques de mortalité sont jugés inacceptables. Elle est de 10 à 15 jours pour une jeune plantation de palmiers, ce qui correspond aussi à une perturbation acceptable pour une palmeraie en exploitation ;

— le niveau optimal de la nappe est généralement encadré par deux valeurs :

- la profondeur maximale qui correspond à la profondeur de creusement des fossés et au-delà de laquelle le drainage devient inutile et même néfaste,
- la profondeur minimale qui ne sera dépassée qu'exceptionnellement, sans excéder la durée admissible de submersion de la culture.

En palmeraie sur sol tourbeux de Côte d'Ivoire, on s'efforce de contenir les variations de la nappe entre 30 et 60 cm de profondeur.

2) Risques d'inondation, période de retour.

La capacité de drainage peut être dépassée et engendrer une inondation temporaire. Le risque sera défini par la période de retour (par exemple 10 ans), c'est-à-dire le nombre d'années consécutives où ce phénomène ne se produira qu'une fois.

3) Pluie critique.

C'est le maximum de pluviosité cumulée sur la durée admissible de submersion pour la période de retour choisie. Le réseau de drainage sera calibré pour évacuer cette pluie critique.

Sur la Station de La Mé elle est de 200 mm en 10 jours avec une période de retour de 10 ans.

4) Limites de l'aménagement.

Les flux d'eaux en provenance de l'aval de la zone à aménager fixent la cote topographique en dessous de laquelle un drainage efficace ne pourra être assuré lors des périodes critiques. Cette cote C_m se définit de la façon suivante :

$$C_m = C + H + D,$$

avec : C = cote atteinte par les hautes eaux en aval (plan d'eau, rivière) pour la période de retour choisie,
 H = profondeur de creusement du drain en aval,
 D = marge de sécurité si l'on soupçonne un tassement non négligeable du sol, après mise en culture.

III. — CALIBRAGE DU RÉSEAU

1) Principe de calcul.

Il se fait généralement par application de la formule de Manning et Strickler qui, en chaque point du réseau, s'énonce ainsi :

$$Q = K^{1/2} S R^{2/3},$$

avec : Q = débit du drain en m^3/s ou $(m^3 s^{-1})$,
 K = coefficient de rugosité,
 I = pente moyenne au point considéré, en m/m ($m m^{-1}$),
 S = section mouillée en m^2 (Fig. 1),
 R = rayon hydraulique en m :

$$R = \frac{S}{P_R}$$

où P_R est le périmètre mouillé (Fig. 1) ;

$$\text{d'où : } S = H \left(F + \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} \right),$$

$$\text{et } P_R = F + 2 \frac{H}{\sin \alpha}$$

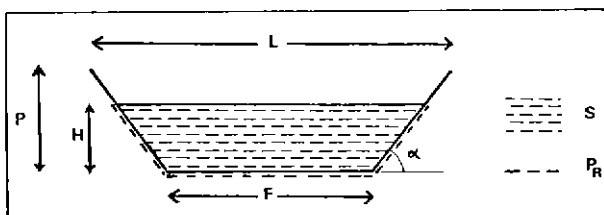


FIGURE 1.

2) Application.

En chaque point du réseau le débit maximal sera calculé en fonction de la surface à drainer et de la pluie critique.

Le coefficient de rugosité, la pente du terrain, les caractéristiques P , H et α seront établis en fonction de la nature

des sols, de la topographie et du type de culture. On fera donc varier la largeur du plafond (F) jusqu'à obtention du débit souhaité.

a) Débit maximal en un point du réseau.

Le débit caractéristique correspond à l'évacuation d'un volume d'eau de pluie critique par unité de surface pendant la durée admissible de submersion. Il s'exprime en m^3/ha et par seconde. En chaque point du réseau d'assainissement le débit maximal est égal au produit du débit caractéristique par la surface située en amont de ce point.

Exemple : deux collecteurs secondaires drainent chacun 50 ha et se réunissent en un point A.

La pluie critique est de 200 mm en 10 jours.

En A le débit maximal est de 200 000 m^3 en 10 jours soit 0,231 m^3/s (N.B. — 1 mm de pluie sur 1 ha donne 10 m^3).

b) Détermination de K et α .

Le coefficient de rugosité (K) dépend de la nature du matériau, de l'état des parois et de la végétation éventuelle.

Pour des fossés en terre quasi rectilignes, il varie de 50 (entretien parfait) à 25 (parois très enherbées ou éboulées), les valeurs généralement utilisées dans les projets étant de 30 à 35.

La pente des berges forme un angle (α) variant de 45° (terres argileuses cohérentes) à 25° (sols meubles peu cohérents).

c) Détermination des autres caractéristiques.

Il est la pente du fond du drain après creusement ou recreusement dans le cas d'un fossé naturel. Elle est considérée comme régulière de part et d'autre d'un point du réseau.

La profondeur de creusement est fixée par les exigences de la culture.

IV. — EXEMPLE DE CALCULS

La figure 2 représente une portion d'aménagement comprenant dix drains secondaires et un drain primaire débouchant dans une lagune. Les sols sont homogènes, assez argileux avec un horizon humifère de surface.

1) Bases de calcul.

- durée admissible de submersion : 10 jours,
- pluie critique : 200 mm en 10 jours,
- période de retour de la pluie critique : 10 ans,
- profondeur optimale de la nappe : 0,30 à 0,60 m,
- coefficient de rugosité : $K = 35$,
- pente des talus : $\alpha = 45^\circ$,
- tassement des sols : $D < 5$ cm,
- cote maximale des eaux de la lagune : $C = 0,20$ m.

2) Calculs.

- limite de l'aménagement : $C_m = 0,85$ cm,
- débit caractéristique : $QC = 2,31 \cdot 10^{-3} m^3 ha^{-1} s^{-1}$.
- application de la formule de Manning et Strickler : en tout point on prendra :

$$K = 35, \alpha = 45^\circ, P = 0,60 \text{ m.}$$

Les débits maximaux à évacuer et les pentes pour deux points du réseau sont donnés par le tableau ci-dessous :

Point du réseau	Pente (m/m)	Surface à drainer (ha)	Débit maximal (m ³ /s)
A	1,11 10 ⁻³	300	0,69
B	0,67 10 ⁻³	500	1,76

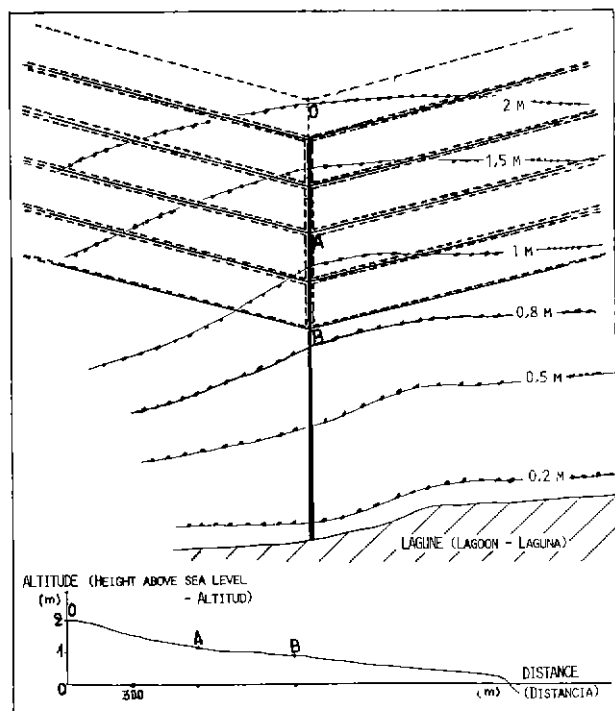


FIG 2. — Exemple d'aménagement (Example of land improvement - Ejemplo de adecuación).

— Drain primaire (Primary drain - Zanja primaria).
 — Drains secondaires (Secondary drains - Zanjas secundarias).
 - - - - - Courbes de niveau (Contour lines - Curvas de nivel).
 - - - - - Limites bloc de 50 ha (Limits of a 50-ha block - Limites de los bloques de 50 ha).

Lors de l'évacuation de la pluie critique, la hauteur d'eau dans le drain sera de 60 cm. Pour assurer les débits précédemment calculés, les largeurs du fond devront être respectivement de 1,30 et 3 m en A et B. Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des fossés en ces deux points :

Lieu	F (m)	L (m)	Section (m ²)	Débit maximal calculé (m ³ /s)
A	1,30	2,50	1,14	0,70
B	3	4,20	2,16	1,17

V. — REMARQUES

La technique de calcul utilisée a été simplifiée sur deux points :

— dans l'évaluation du débit caractéristique, on ne tient compte que du volume d'eau correspondant à l'intensité de la pluie critique sans tenir compte des pertes par évaporation pendant la durée admissible de submersion. Cette simplification se justifie du fait que l'évapotranspiration est en général minimale durant les périodes de forte pluviosité ; le réseau est dans ce cas légèrement surdimensionné ce qui offre une sécurité supplémentaire ;

— les surfaces à prendre en compte dans le calcul des débits peuvent être supérieures aux surfaces propres au périmètre dans le cas où celui-ci est bordé par des bassins versants importants. Dans ce cas, le ruissellement en bas de pente sera estimé de manière à l'évacuer soit par le réseau d'assainissement dimensionné en conséquence, soit par un fossé de collature indépendant.

B. DUBOS.

Application of the Manning and Strickler formula to land improvement projects in Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

In Southern Côte d'Ivoire, mineral or organic water-logged soils cover 100 to 200 thousand ha. They are generally found at the bottom of thatwegs and around lagoons. Natural drainage is poor because of obstructed water courses or low lying areas. As the water table is almost permanently at surface level, these zones are very little used by smallholders. Experience acquired on these soils at the La Mé station has shown that they are suitable for growing oil palm. This requires the construction of a drainage network composed of ditches whose size depends on many factors, particularly slope and the quantity of water to be evacuated.

This Advice Note describes how to calculate ditch dimensions.

I. — PRELIMINARY STUDIES

Preliminary studies provide better knowledge of the sector to be improved and the surrounding area. A network of observation paths is used to carry out topographical and soil studies. The layout and density of these paths depend on the accuracy desired, ground heterogeneity and the shape of the zone surveyed.

1) Topographical study.

This study makes it possible to represent relief and natural slopes graphically. The orientation of plots and drainage network collectors is based on this study.

2) Soil study.

The aim of this study is to characterize the soil types found. Their structure and texture determine drain size.

3) Drainage study.

This study describes temporary and permanent runoff (backwaters-low lying areas) observed during surveying operations.

Streams, rivers or permanent bodies of water generally serve as final outlets for the drainage system.

Data concerning previous water level variations (limnometric scale, discharge and seasonal flow data) make it possible to determine land improvement limits.

4) Rainfall study.

Meteorological data are used to define critical rainfall levels for the crop's acceptable submersion time. The recurrence period will be chosen with greater accuracy the longer the observation period.

II. — BASIS FOR DRAINAGE NETWORK CALCULATIONS

1) Crop requirements.

Two parameters are particularly important :

— acceptable submersion time, which represents the number of days beyond which the risk of mortality is judged too high. It varies from 10 to 15 days for a young oil palm plantation though this period is also acceptable for a bearing plantation :

— the optimum water table level, which generally falls between two values :

- maximum depth, corresponding to the depth of the ditches, below which drainage is not required and even harmful,
- minimum depth which will only be rarely exceeded without overstepping the acceptable submersion time.

In oil palm plantations on peat soils in Côte d'Ivoire, every attempt is made to keep water table variations between 30 and 60 cm in depth.

2) Risk of flooding, recurrence period.

If the amount of water to be evacuated exceeds drainage capacity, there is the risk of temporary flooding. This risk is according to the recurrence period (for example, 10 years), i.e. the number of consecutive years during which this phenomenon occurs only once.

3) Critical rainfall.

This is the maximum rainfall cumulated over the acceptable submersion time for the recurrence period adopted. The drainage network is designed to evacuate this critical rain.

At the La Mé Station, it is 200 mm over 10 days with a 10-year recurrence period.

4) Land improvement limits.

Water flow from an area downstream from the zone to be improved determines the topographical elevation below which effective drainage cannot be ensured during critical periods. This limit, C_m , is defined as follows :

$$C_m = C + H + D,$$

where : C = level reached by high water downstream (lake, river) for the recurrence period adopted,

H = Depth of the drain downstream,

D = Security margin if fairly significant soil compaction is suspected after planting.

III. — DRAINAGE NETWORK DIMENSIONS

1) Calculation principle.

Calculations are generally made by applying the Manning and Strickler formula which, at any given point of the network, is as follows :

$$Q = K I^{1/2} S R^{2/3},$$

where : Q = drain capacity in m^3/s or $(m^3 s^{-1})$,

K = roughness coefficient,

I = average slope at the point considered, in m/m ($m m^{-1}$),

S = wet area in m^2 (Fig. 1),

$$R = \text{hydraulic radius in } m : R = \frac{S}{P_R}$$

where : P_R is the perimeter of the wet area (Fig. 1) ;

$$\text{hence : } S = H \left(F + \frac{H}{\tan \alpha} \right), \text{ and}$$

$$P_R = F + 2 \frac{H}{\sin \alpha}$$

2) Application.

At any given point of the network, calculation of maximum flow depends on the surface area to be drained and critical rainfall.

Calculation of the roughness coefficient, slope and characteristics P , H and α depends on the type of soil, topography and the crop to be planted. The size of the drain bottom (F) is therefore variable and depends on the flow desired

a) Maximum flow at any given network point.

Typical flow corresponds to the evacuation of a volume of critical rainfall per surface area unit during the acceptable submersion time. It is expressed in $m^3/ha/second$. At each point of the drainage network, maximum flow is equal to the product of typical flow multiplied by the surface area situated upstream from this point.

Example :

Two secondary collectors each drain 50 ha and join at point A. Critical rainfall is 200 mm over 10 days.

At point A, maximum flow is $200,000 m^3$ over 10 days, i.e. $0.231 m^3/s$ (N.B. : 1 mm of rainfall over 1 ha = $10 m^3$).

b) Calculation of K and α .

The roughness coefficient (K) depends on the type of material, condition of the drain walls and possible vegetation.

For an almost straight earth ditch it varies from 50 (perfect maintenance) to 25 (banks with numerous weeds or crumbling). Values generally used for improvement projects go from 30 to 35.

The slope of the banks forms an angle (α) going from 45° (coherent clayey soils) to 25° (mellow and little coherent soils).

c) Calculation of other characteristics.

I is the slope of the bottom of the drain after digging or improvement in the case of a natural ditch. It is considered as a regular slope on either side of a given point of the network.

Depth depends on crop requirements.

IV. — EXAMPLE OF CALCULATIONS

Figure 2 represents part of a drainage network including 10 secondary drains and 1 primary drain flowing into a lagoon. Soils are homogeneous, rather clayey with a humus bearing surface horizon.

1) Calculation data.

- acceptable submersion time : 10 days,
- critical rainfall : 200 mm over 10 days,
- critical rainfall recurrence period : 10 years,
- optimum water table depth : 0.30 to 0.60 m,
- roughness coefficient : $K = 35$,
- drain wall slope : $\alpha = 45^\circ$,
- soil compaction : $D = < 5$ cm,
- maximum height of lagoon water : $C = 0.20$ m.

2) Calculations.

- improvement limits : $C_m = 0.85$ cm,
- typical flow : $QC = 2.31 \cdot 10^{-3} m^3 ha^{-1} s^{-1}$,
- application of the Manning and Strickler formula : at any given point : $K = 35$, $\alpha = 45^\circ$, $P = 0.60$ m.

The maximum flow to be evacuated and the slopes for two points of the network are given in the table below :

Network point	Slope (m/m)	Surface area to be drained (ha)	Maximum flow (m^3/s)
A	$1.11 \cdot 10^{-3}$	300	0.69
B	$0.67 \cdot 10^{-3}$	500	1.76

During the evacuation of critical rainfall, the height of the water in the drain will be 60 cm. To guarantee the flow rates calculated above, the bottom of each drain should be 1.30 m and 3 m wide for point A and B respectively. The table below recapitulates ditch characteristics at these two points :

Network point	F (m)	L (m)	Cross-section (m ²)	Maximum flow calculated (m ³ /s)
A	1.30	2.50	1.14	0.70
B	3	4.20	2.16	1.17

V. — COMMENTS

The calculation method used has been simplified at two steps.

1) in evaluating typical flow, only the volume of water corresponding to the intensity of critical rainfall is taken into

account without giving consideration to losses through evaporation during the acceptable period of submersion. This simplification is justified given the fact that evapotranspiration is generally minimal during these periods of heavy rainfall, the network in this case is slightly oversized, which gives a wider security margin;

2) the surface areas to be taken into account in calculating flow can be larger than the real surface area if the latter is surrounded by large catchment areas. In this case, runoff at the bottom of slopes should be estimated so that it can be evacuated by either a drainage network sized accordingly or by an independent drainage ditch.

B. DUBOS.

Aplicación de la fórmula de Manning y Strickler sobre proyectos de habilitación en Côte d'Ivoire

INTRODUCCION

En el Sur de Côte d'Ivoire, los suelos hidromórficos minerales u orgánicos abarcan una superficie de 100 a 200 000 hectáreas. Suelen ocupar el fondo de los vaguadas a orillas de las lagunas. Su drenaje natural es muy reducido, por estar obstruidos los ríos o las ciénagas. El que una capa de agua se mantenga de modo casi permanente en la superficie del suelo hace que la mayoría de estos suelos formen áreas muy poco aprovechada por los campesinos. La experiencia que la estación de La Mé ha acumulado en estos tipos de suelos pone de relieve lo interesante que será ponerlos en cultivo con palma africana. Este aprovechamiento impone implantar una red de saneamiento constituida por zanjas de un tamaño que varía de acuerdo a varios parámetros, en especial el declive y las cantidades de agua que hay que evacuar.

En el presente artículo se describe el método para calcular el tamaño de las zanjas.

I. — ESTUDIOS PREVIOS

Estos estudios previos proporcionarán un mejor conocimiento del sector que debe adecuarse y del medio ambiente. Los estudios topográficos y pedológicos se harán en una red de trochas de observaciones. La estructura y la densidad de las trochas dependerán del nivel de precisión que se desea alcanzar, de las heterogeneidades del terreno y de la forma del área reconocida.

1) Estudio topográfico.

Este estudio permite tener una representación gráfica del relieve, y también conocer los declives naturales. En tales bases se escogerá la orientación del plano por parcela y de los colectores de la red saneamiento.

2) Estudio pedológico.

Tiene por fin caracterizar las unidades de suelos que se encuentren, dependiendo el calibrado de las zanjas de su estructura y textura.

3) Estudio hidrográfico.

Este estudio se refiere a la descripción de los desagües transitorios y permanentes (como son las ciénagas o las líneas de bajos) encontrados durante el reconocimiento.

Los ríos o aguas estancadas permanentes sirven en general de aliviaderos finales a la red de saneamiento.

Los datos sobre variaciones anteriores de sus niveles (levantamientos de escalas limnimétricas, levantamientos de caudales, regímenes según estaciones...) permiten establecer los posibles límites de la adecuación.

4) Estudio de las precipitaciones.

Los levantamientos meteorológicos sirven para definir la lluvia crítica por el tiempo admisible de submersion del cultivo. El período de vuelta de la submersion se escogerá con una precisión tanto mejor cuanto más importante sea la duración de observaciones.

II. — BASES DE CÁLCULO DE LA RED DE SANEAMIENTO

1) Requerimientos del cultivo.

Hay dos parámetros particularmente importantes:

— la duración admisible de submersion representa el número de días después del cual los riesgos de mortalidad se consideran no aceptables. Esta duración es de 10 a 15 días en el caso de una plantación joven de palmas, lo cual corresponde también a una perturbación aceptable (tratándose de un palmeral que está siendo cultivado);

— el nivel óptimo de la capa de agua suele estar comprendido entre dos valores que son:

- la profundidad máxima, que corresponde a la profundidad de excavación de zanjas, siendo inútil y hasta nocivo drenar a partir de este nivel,
- la profundidad mínima, que sólo podrá sobrepasarse dentro de condiciones excepcionales, sin rebasar el tiempo admisible de submersion del cultivo.

En los palmerales sobre suelos turbosos de Côte d'Ivoire, se procurará contener las variaciones del nivel entre 30 y 60 cm de profundidad.

2) Riesgos de inundación, período de vuelta.

La capacidad de drenaje puede sobrepasarse, produciendo una inundación temporaria. El riesgo se definirá por el período de vuelta (10 años, por ejemplo), o sea el número de años consecutivos en que este fenómeno sólo se dará una vez.

3) Lluvia crítica.

Es el máximo de precipitación acumulada durante el tiempo de duración admisible de submersion por el período de vuelta escogido: la red de drenaje se calculará de tal modo que pueda evacuar esta lluvia crítica.

Esta asciende a 200 mm durante 10 días en la estación de La Mé, con período de vuelta de 10 años.

4) Límites de la adecuación.

Los flujos de agua venidas de aguas arriba del área de adecuación establecen la cota topográfica por debajo de la cual no se podrá asegurar un drenaje eficaz en los períodos críticos. Esta cota C_m puede definirse así :

$$C_m = C + H + D,$$

siendo : C = cota alcanzada por las aguas crecidas río arriba (aguas estancadas, río) por el período de vuelta escogido,

H = profundidad de excavación de la zanja río abajo,

D = margen de seguridad en el caso de sospecharse una fuerte compactación del suelo, después de la puesta en cultivo.

III. — CALIBRADO DE LA RED

1) Principio de cálculo.

El cálculo suele efectuarse aplicando la fórmula de Manning y Strickler que en cada punto de la red, puede enunciarse así :

$$Q = K I^{1/2} S R^{2/3},$$

siendo : Q = caudal de la zanja, en m^3/s o $(m^3 s^{-1})$,

K = coeficiente de rugosidad,

I = declive promedio en el punto considerado, en m/m ($m m^{-1}$),

S = sección mojada en m^2 (Fig. 1),

R = radio hidráulico en m : $R = \frac{S}{P_R}$.

siendo : P_R el perímetro mojado (Fig. 1) ;

De ahí que $S = H \left(F + \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$,

y $P_R = F + 2 \frac{H}{\sin \alpha}$

2) Aplicación.

En cada punto de la red el caudal máximo se calculará con arreglo al área a drenarse y a la lluvia crítica.

El coeficiente de rugosidad, el declive del terreno, las características P , H y α se establecerán en función de la naturaleza de los suelos, de la topografía y del tipo de cultivo. O sea que se hará variar la anchura del fondo (F) hasta obtenerse el caudal deseado.

a) Caudal máximo en un punto de la red.

El caudal característico corresponde a la evacuación de un volumen de agua llovediza crítica por unidad de superficie en la duración admisible de sumersión ; se expresa en m^3/ha y por segundo. En cada punto de la red de saneamiento el caudal máximo es igual al producto del caudal característico por la superficie situada aguas arribas de este punto.

Ejemplo : dos canales secundarios drenan cada uno 50 hectáreas, reuniéndose en un punto A.

La lluvia crítica es de 200 mm dentro de 10 días.

El caudal máximo en A es de 200 000 m^3 dentro de 10 días, o sea 0,231 m^3/s (es de anotar que 1 mm de lluvia en 1 ha representa 10 m^3).

b) Determinación de K y α .

El coeficiente de rugosidad (K) depende de la índole del material, del estado de las paredes y de la posible vegetación.

En el caso de zanjas de tierra casi rectilíneas, este coeficiente varía entre 50 (estando el mantenimiento perfecto) a 25 (estando las paredes cubiertas por mucha hierba, o derrumbadas) ; los valores que suelen aplicarse en los proyectos varían de 30 a 35.

El declive de las márgenes forma un ángulo (α) que varía de 45° (tierras arcillosas coherentes) a 25° (suelos sueltos poco coherentes).

c) Determinación de las demás características.

Representa el declive del fondo de la zanja después de que ésta haya sido excavada o ahondada en el caso de una zanja natural. I se considera regular de una parte y otra de un punto de la red.

La profundidad de excavación depende de los requerimientos que el cultivo impone.

IV. — EJEMPLOS DE CÁLCULOS

La Figura 2 representa una porción de adecuación formada por diez zanjas secundarias y una zanja primaria que desemboca en una laguna. Los suelos son homogéneos, bastante arcillosos, con horizonte humífero superficial.

1) Bases de cálculo.

- duración admisible de la sumersión : 10 días,
- lluvia crítica 200 mm dentro de 10 días,
- período de vuelta de la lluvia crítica : 10 años,
- profundidad óptima del nivel freático : 0,30 a 0,60 m.
- coeficiente de rugosidad : $K = 35$,
- declive de taludes : $\alpha = 45^\circ$,
- compactación de los suelos : $D < 5$ cm,
- cota máxima alcanzada por las aguas de la laguna : $C = 0,20$ m.

2) Cálculos.

- límite de la adecuación : $C_m = 0,85$ cm,
- caudal característico : $Q_C = 2,31 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot ha^{-1} s^{-1}$,
- aplicación de la fórmula de Manning y Strickler : en cualquier punto se tomará lo siguiente : $K = 35$, $\alpha = 45^\circ$, $P = 0,60$ m.

Los caudales máximos que hay que evacuar y los declives para dos puntos de la red resultan de la aplicación del cuadro siguiente :

Punto de la red	Declive (m/m)	Área a drenarse (ha)	Caudal máximo (m^3/s)
A	$1,11 \cdot 10^{-3}$	300	0,69
B	$0,67 \cdot 10^{-3}$	500	1,76

En la evacuación de la lluvia crítica, el nivel de agua en la zanja será de 60 cm. Para alcanzar los caudales calculados ya, las anchuras de fondo tienen que ser de 1,30 y 3 m respectivamente en A y B. Las características de las zanjas en estos dos puntos se hallan resumidas en el cuadro a continuación :

Lugar	F (m)	L (m)	Sección (m^2)	Caudal máximo calculado (m^3/s)
A	1,30	2,50	1,14	0,70
B	3	4,20	2,16	1,17

V. — OBSERVACIONES

La técnica de cálculo utilizada se simplificó en dos aspectos :

- en la evaluación del caudal característico, sólo se considera el volumen de agua que corresponde a la intensidad de la lluvia crítica, sin tener en cuenta las pérdidas por evaporación en la duración admisible de sumersión. Esta simplificación se justifica por el que la evapotranspiración suele ser mínima en los períodos de fuertes precipitaciones ; dentro de este caso se prevé una red de un tamaño un poco superior, para tener una mayor seguridad ;
- las áreas que deben considerarse en el cálculo de los caudales pueden superar a las áreas propias del perímetro, por si éste se halla en el margen de unas importantes cuencas vertientes. Dentro de este caso el escurrimiento en lo bajo del declive se evaluará de tal modo que quede evacuado en la red de saneamiento pensada para eso, o en una zanja de desagüe independiente.

B. DUBOS.