

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Titre Etude par ordinateur de dalles
bidirectionnelles

Auteur C MB NDOYE

Génie CIVIL

Date JUIN 1984

Ecole Polytechnique de Thies

PROJET DE FIN D'ETUDES

GC 0607

TITRE: Calcul par ordinateur de dalles bidirectionnelles

AUTEUR: Cheikh MBacké
NDoye

DIRECTEUR: Roger Lupien

1983-84

Remerciements

Tous mes remerciements vont à mon directeur de projet, M. Roger Luperon, pour sa lucidité et son réalisme face à mes ambitions folles du début. Je ne le remercierai pas assez pour ses conseils et son aide efficace tout au long de cette année pendant laquelle nous avons travaillé ensemble.

Il est des hommes aussi qui agissent dans l'ombre et dont la modestie légendaire ne voudrait qu'on parle de leurs actions. Est de ceux-ci M. Jean-Pierre Liage, professeur de Génie Arme à l'École Polytechnique de Thiès. Qu'il me permette de lui dire toute ma gratitude pour le temps précieux qu'il nous a consacré à l'ordinateur ne nous fussions terminés avant.

Dédicace

A mes parents

A mon oncle M'Baye Fall, tombé sur le chemin
de l'humain, lui qui, me le un instant, demeurera
un jamais guide et exemple pour moi,
lui qui m'a très tôt appris que l'essentiel
ne doit jamais être de participer seulement.
A tous ceux qui ne m'ont jamais ménagé leur
soutien durant cette traversée qui, commençant
un jour d'Octobre, il y a un huit ans.

SOMMAIRE

Il s'agit ici d'un calcul assisté par ordinateur de dalles à deux directions qui nous permettra d'avoir ce qu'on appelle communément le coffrage et le ferrailage de la dalle c'est-à-dire l'épaisseur de la dalle et les quantités d'acier et leur répartition dans la dalle.

Une dalle à deux directions est une dalle dont le rapport des côtés est inférieur à 2, donc c'est une dalle qui travaille dans les 2 sens.

- Avec les critères de f_t et f_{ct} , on détermine son épaisseur
- On divise la dalle en cadres dans les 2 sens et on effectue le calcul en flexion pour chaque cadre
- Les moments dans chaque cadre sont répartis en moments sur bande de colonnes et en moments sur bandes médianes

Les sections d'aciers sont calculées.

Pour arriver à ce projet de calcul qui est naturellement précédé de la phase de conception, on a remplacé la méthode utilisée (la D.D.M) de la méthode plus générale qui est la méthode des cadres fictifs avant de définir un système de coordonnées rendant le programme interactif.

Trois exemples ont ensuite permis de tester la validité du programme qui cependant comporte beaucoup de limites.

<u>TABLE DES MATIERES</u>		Pages
SOMMAIRE		iv
CHAPITRE I - INTRODUCTION		
I.1	OBJECTIF	1
I.2	LIMITES DU PROGRAMME	1
CHAPITRE II - METHODE DES CADRES FICTIFS		
II.1	CADRES EQUIVALENTS	3
II.2	TYPES DE CHARGEMENT	4
II.2.1	Cas 1	5
II.2.2	Cas 2	5
II.3	COLONNE EQUIVALENTE	6
CHAPITRE III - MODE D'UTILISATION		
III.1	DEFINITIONS DE BASE	8
III.1.1	Le système de coordonnées	8
III.1.2	Les nœuds	8
III.1.3	Les pannes	9
III.1.4	Les cadres poutres	10
III.2	MARCHE A SUIVRE	10
III.3	COMMENT LANCER LE PROGRAMME	12
CHAPITRE IV - ORGANIGRAMME		
IV.1	DEFINITION DES VARIABLES	14
IV.2	ORGANIGRAMME	18
CHAPITRE V - PROGRAMME		53
CHAPITRE VI - CONCLUSION		74
ANNEXE A : Exemple 1		76
ANNEXE B : Exemple 2		87

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I.1 OBJECTIF

Ce présent rapport concerne le calcul par ordinateur des dalles bidirectionnelles en béton armé.

Vu le nombre élevé de paramètres contrôlant le design des dalles et le grand nombre de vérifications imposées par la norme, le calcul manuel serait très fastidieux. Ce programme a donc pour but le calcul rapide des dalles avec le minimum d'interventions possible de l'opérateur.

I.2 LIMITES DU PROGRAMME

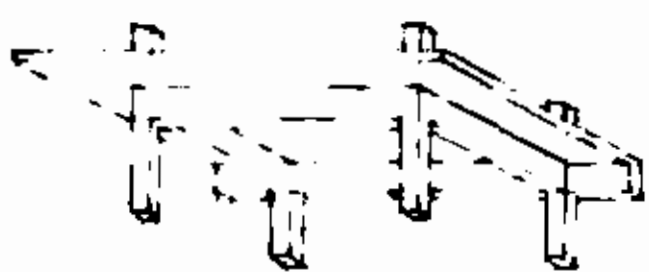
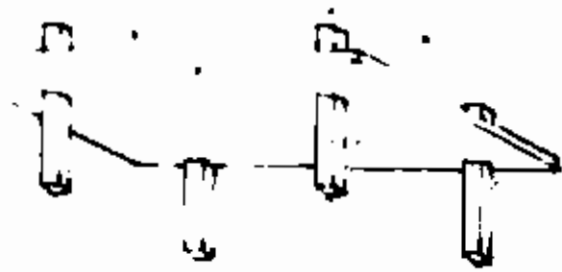
- La norme canadienne A23.3 a été appliquée
- La méthode directe (D.D.M.) a été utilisée avec les restrictions qu'elle comporte.

- 3 types de plancher seulement sont susceptibles d'être étudiés par le prog.

type 1 : dalle pleine (sans poutres ni ressauts)

type 2 : dalle avec poutres

type 3 : dalle avec ressauts de dimensions suivant X et suivant Y symétriques par rapport aux axes des colonnes.



Type 2



Type 3

CHAPITRE II

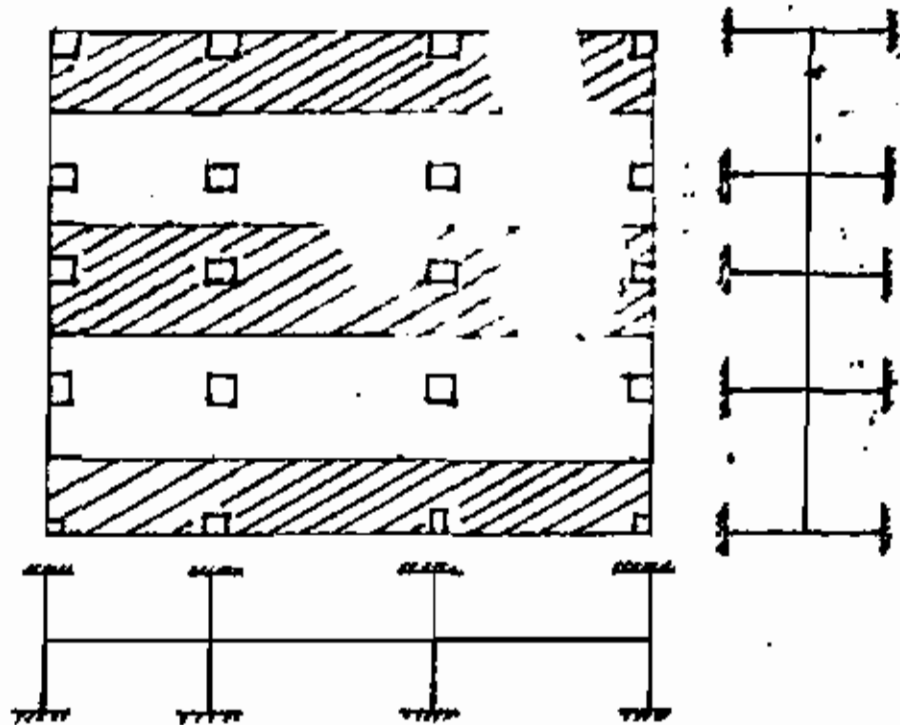
METHODE DES CADRES FICTIFS

La méthode de calcul direct (ou D.D.M) est une simplification de la méthode des cadres fictifs qui est basée sur les principes suivants

II.1 CADRES EQUIVALENTS

La structure de l'ensemble dalle-poteaux est divisée en une suite de cadres dits cadres équivalents qui sont disposés sur les lignes de poteaux dans les sens longitudinal et transversal du bâtiment.

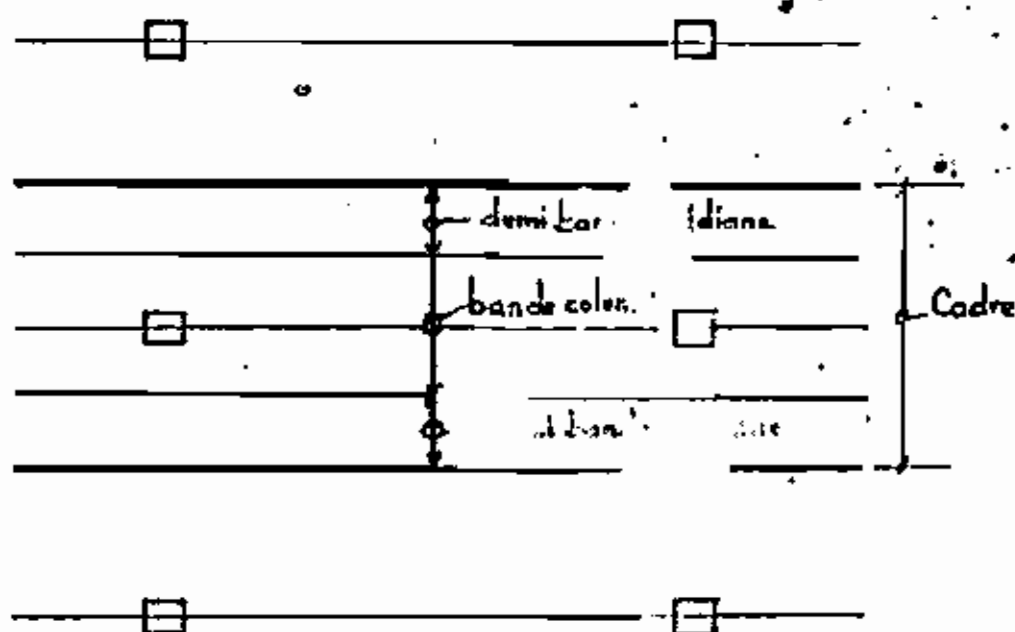
Cette approche est justifiée par le fait que la raideur de la dalle et la raideur des poteaux sont du même ordre de grandeur.



Il ya des particularités quant à la distribution des efforts dans la dalle car celle-ci est beaucoup plus large que le poteau.

Cette largeur explique aussi qu'une bande située dans la région des poteaux soit plus rigide et donc plus sollicitée que les bandes les bandes les plus éloignées. La dalle sera alors partagée en bandes colonnes et en bandes médianes.

Chaque cadre équivalent sera subdivisé en une bande colonne (ou bande sur appuis) et en deux demi bandes médianes de part et d'autre de celle-ci.



II.2 TYPES DE CHARGEMENT

Seules les charges verticales sont considérées, les sollicitations horizontales telles que les charges de vent étant négligées.

Il s'agit de déterminer les combinaisons de charges

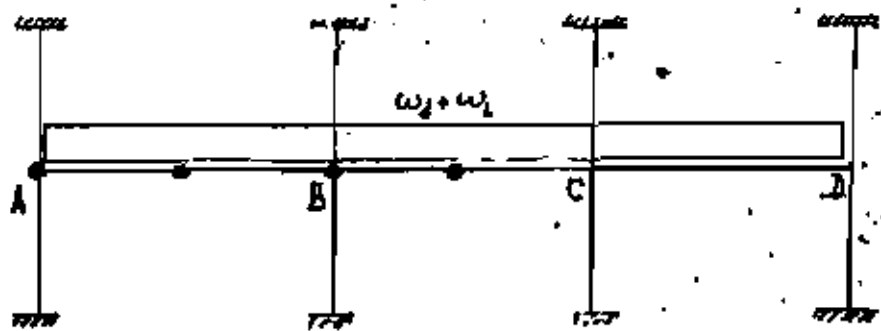
permanente et de surcharge qui donnent les moments maximum à des sections de la dalle.

Les poteaux sont considérés encastrés à leurs extrémités éloignées.

II.2.1 Cas 1 : Surcharge variable $\leq 3/4$ de la charge permanente ou surcharge sur tous les panneaux simultanément.

Chargement : la pleine surcharge de calcul est imposée à la dalle.

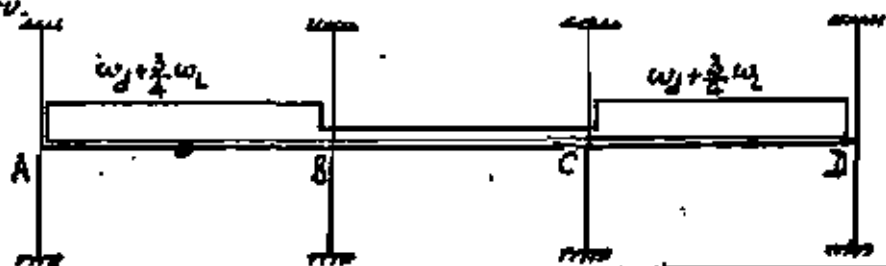
Effet : les moments sont maximum à toutes les sections.



II.2.2 Cas 2 : Surcharge différente de celles couvertes par le 1.

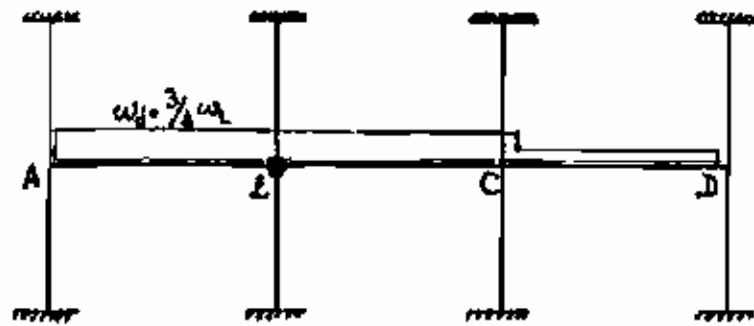
Chargement (1) : les $3/4$ de la pleine surcharge de calcul s'exercent sur un panneau et sur chaque deuxième panneau.

Effet : Moment positif maximal au centre de la portée du panneau.

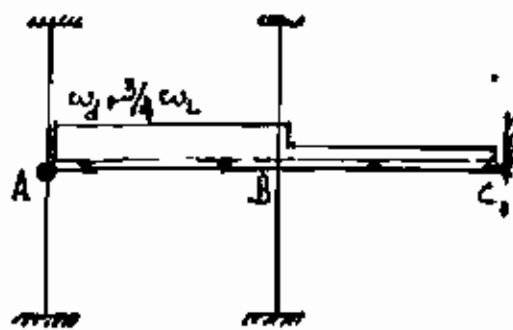


Chargement (2) : les $3/4$ de la pleine surcharge de calcul sont appliqués sur les panneaux adjacents seulement.

Effet : Moment négatif maximal à l'appui.



Appui de rive : poutre-dalle fixe à l'appui situé à une distance de deux panneaux de l'appui de rive.



Les moments de tranchée trouvés avec le cas 2 ne peuvent être inférieurs aux moments trouvés avec le 1.

II.3 COLONNE EQUIVALENTE

Les éléments convergant en un nœud sont :

- les poteaux au-dessus et en-dessous du nœud (ils sont sollicités en flexion)
- les poutres transversales ou le bord de la dalle (ils sont sollicités en tension) e

La méthode des cadres fictifs remplace ces éléments par une

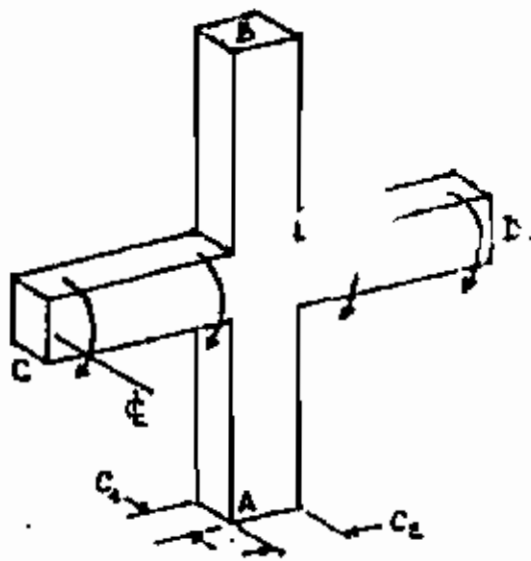
colonne fictive dite colonne équivalente.

Les rigidités flexionnelles des poutres ($\sum K_c$) et les rigidités torsionnelles (K_t) des membrures transversales sont alors remplacées par une rigidité équivalente (K_{ec})

$$K_{ec} = \frac{\sum K_c}{1 + \frac{\sum K_c}{K_t}}$$

Le concept de colonne équivalente vise à corriger la rigidité de la dalle. En effet, la dalle, vu sa largeur, n'est pas une poutre, sa rigidité réelle est donc plus faible; on la corrige indirectement en remplaçant la rigidité des colonnes ($\sum K_c$) par une rigidité plus faible (K_{ec}).

Le même résultat aurait été obtenu en appliquant directement un facteur de correction (inférieur à 1) à la rigidité de la dalle.



panneau

CHAPITRE III

MODE D'UTILISATION

Ce programme est tributaire des définitions ci-dessous et sa bonne marche nécessite le strict respect des directives qui suivent.

III.1 DEFINITIONS DE BASE

III.1.1 Le système de coordonnées

Système dans le plan horizontal (plan de la feuille)

- Axe X : horizontal, de la gauche vers la droite. Il coïncide avec la ligne horizontale de colonnes la plus basse.

- Axe Y : vertical, du bas vers le haut. Il coïncide avec la ligne verticale de colonnes la plus à gauche.

III.1.2 Les nœuds

Un nœud correspond à une c :

Les nœuds sont numérotés de la 1 vers la droite et du bas vers le haut par numéro croissant.

Un nœud est caractérisé par :

- son numéro

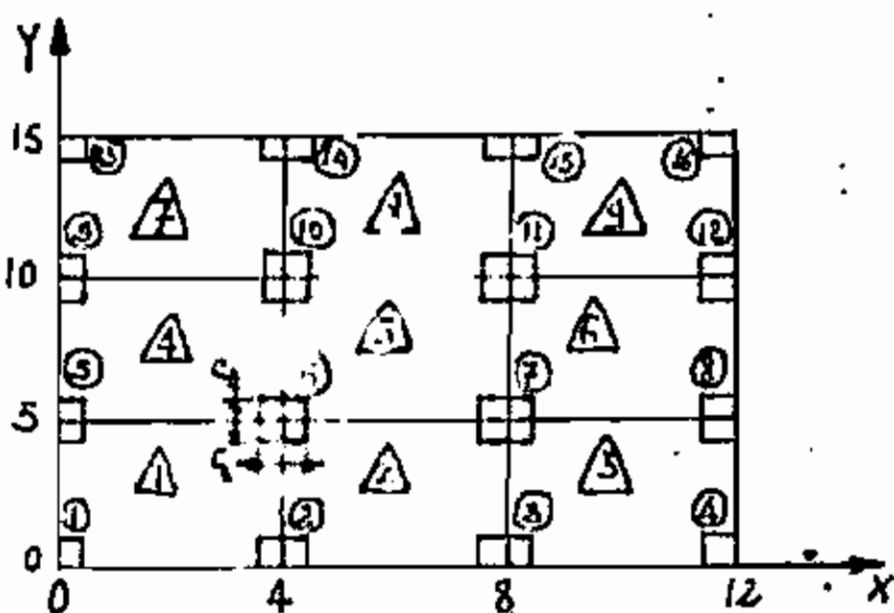
- ses coordonnées X et Y

- les dimensions suivant X et suivant Y

(c_1 et c_2) de la colonne correspondante.

Les coordonnées ainsi que les dimensions des nœuds sont exprimées en mètres.

Par exemple : nœud # 1 : $x=0$, $y=0$, c_1 , c_2



Notations:

① : nœud n° 1

△ : panneau n° 1

Les rebords, s'ils existent, coïncident aux nœuds et sont définis par :

- leur dimension en
- leur dimension en
- leur épaisseur.

II.13 Les panneaux

Les panneaux sont rectangulaires (ou carrés) avec une colonne à chaque extrémité.

Un panneau est défini par les nœuds situés sur sa diagonale de pente positive (dans le système de coordonnées).
Par exemple le panneau △ de la figure précédente est caractérisé par les nœuds ① et ⑥.

III.1.4 Les cadres et les poutres

Dans les deux directions, les cadres et les poutres sont caractérisés par les nœuds à leurs extrémités.

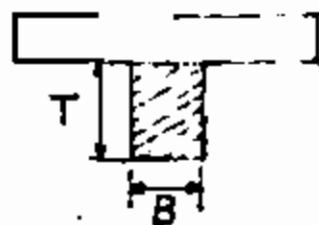
Par exemple, dans la direction X , entre les nœuds ① et ④ on a le cadre $1-4$ qui comprend les poutres suivantes :

- la poutre 1-2
- la poutre 2-3
- la poutre 3-4

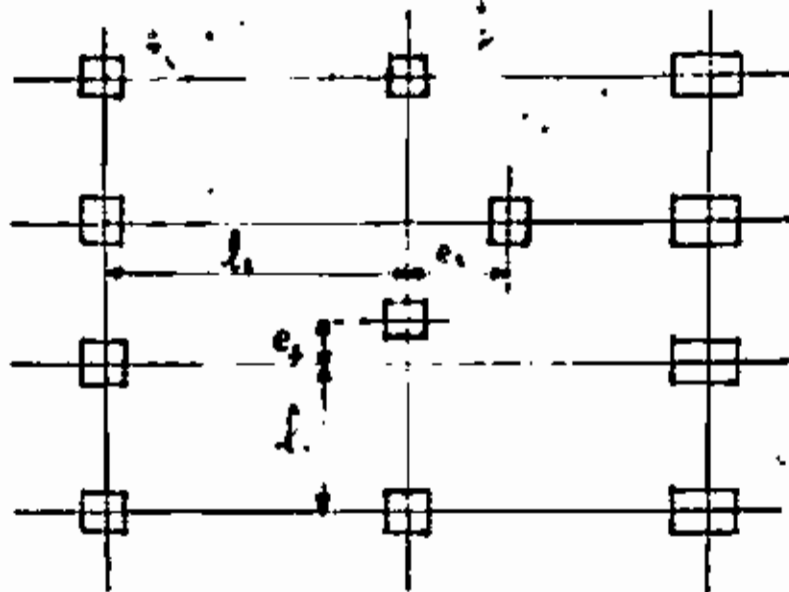
III.2 MARCHE A SUIVRE

Avant de lancer l'exécution du programme :

1. Définir le système d'axes XY
2. Numérotiser les nœuds
3. Bien identifier les coordonnées et dimensions de chaque nœud.
4. Si la dalle est poutrelée, noter les dimensions de l'âme (B et T) de chaque poutre et des poutres de chaque cadre s'il y a lieu.



5. S'il y a des colonnes excentrées, déterminer le numéro et le rapport d'excentricité (e/l) de chacune d'elles, dans la direction concernée.



e_1/l_1 (en %) : rapport d'excentricité dans la direction X.

e_2/l_2 (en %) : rapport d'excentricité dans la direction Y.

6. Dans le cas où il y a des poutres, il est indispensable d'avoir le tableau 7 de l'article 11.4.6.1 a) donnant les valeurs des rigidités relatives minimales d_p des poutres.

7. Déterminer les données d'entrée suivantes :

- Limite d'élasticité de
- Poids volumique du béton
- Résistances à la compression du béton des différents éléments (piliers, colonnes, poutres)
- Charge vive et surcharge permanente
- Longueurs de colonnes au-dessus et en-dessous de la dalle.

Si toutes les étapes précédentes sont suivies, l'exécution du programme peut commencer. Les commentaires utiles pour une bonne compréhension de certains points particuliers seront affichés à l'écran au fur et à mesure.

III.3 COMMENT ACCEDER AU PROGRAMME.

- Pour commencer ; appuyer sur le bouton ON/OFF situé à droite derrière l'écran.

- Le système va demander votre nom (qui est : ept 398.) puis votre mot de passe (q est : clab 12)

Il est à noter que le nom et le mot de passe doivent être écrit en minuscule et avec les chiffres sur la rangée au-dessus du clavier. Le mot de passe n'apparaît pas sur l'écran.

- Le système donne ensuite la liste des programmes utilitaires qui constituent le menu.

Il demande ensuite le numéro du programme sélectionné (c'est le programme n° 20 qui vous intéresse).

Nota : appuyer sur la touche **RETURN** à chaque étape

Résumons ceci par une séquence de dialogue entre le système et l'utilisateur que :

LE SYSTEME : Type in your name and press **RETURN**

L'UTILISATEUR : ept 398 **RETURN**

LE SYSTEME : Type in password and press **RETURN**

L'UTILISATEUR : clab12 **RETURN**

LE SYSTEME : BASIC UTILITIES

ENTER SELECTION OR END

L'UTILISATEUR : 20 **RETURN**

LE SYSTEME : READY

>

Le système est alors prêt à recevoir vos instructions.

Le programme est un M^{th} natif ; pour l'exécuter, il faut commencer au début, avec le 1^{er} sous-programme.

On fait :

LOAD "EP393FG1" **RETURN**

CLOSE (6) **RETURN**

RUN **RETURN**

En ce moment, l'exécution du programme est lancée.

Remarque : quand le système affiche une question comme : $A = B$ (OUI ou NON) vous devez écrire OUI (ou NON suivant le cas) sans appuyer sur **RETURN**.

Vous pouvez avoir le listing de n'importe quel sous-programme (il y en a 7) en écrivant :

CLOSE (6)

LOAD "EP398PGX"

OPEN (6) "LP"

LIST (6)

CLOSE (6)

On appuie sur **RETURN** sur chaque instruction

Très important : BIEN REGARDER LES COMMENTAIRES

sur l'ECRAN

CHAPITRE IV

ORGANIGRAMME

IV.1 DEFINITION DES VARIABLES

$N1$: nombre de nœuds par ligne de colonnes suivant X

$N2$: nombre de nœuds par ligne de colonnes suivant Y

$P1$: test de l'existence ou non de poutres ($P1=0$ ou 1)

$R0$: test de l'existence ou non de ressauts ($R0=0$ ou 1)

f_y : limite élastique de l'acier d'armature (en MPa)

w_c : poids volumique du béton (en Kg/m^3)

f'_{cs} , f'_{cb} , f'_{cc} : résistances à la compression du béton respectivement dans la dalle, dans les poutres et dans les colonnes (en MPa)

E_{cs} , E_{cb} , E_{cc} : modules élastiques du béton respectivement dans la dalle, dans les poutres et dans les colonnes (en MPa)

L.L : charge vive (KN/m^2)

D.L : surcharge permanente (KN/m^2)

l_{cs} , l_{cc} : longueurs de colonnes respectivement au-dessus et en-dessous de la dalle (en m)

X, Y : coordonnées du nœud respectivement dans le sens de X et dans le sens de Y

c_x , c_y : dimensions de la colonne suivant X et suivant Y

$N = N1 \times N2$: nombre total de nœuds

c_3 , c_4 : dimensions du ressaut suivant X et suivant Y respectivement.

c_5 : épaisseur du ressaut

K : compteur de panneaux

l_1, l_2 : longueurs des côtés, respectivement suivant X et suivant Y , d'un panneau (centre à centre des appuis)

l_{n1}, l_{n2} : longueurs libres des côtés suivant X et suivant Y d'un panneau

l_c : longueur d'un côté continu de panneau.

$H(12), H(13), H(14)$: épaisseurs de panneau calculées d'après les équations 12, 13, 14 de la norme

$H3$: épaisseur de dalle en design préliminaire

$H0$: épaisseur limite minimale de dalle

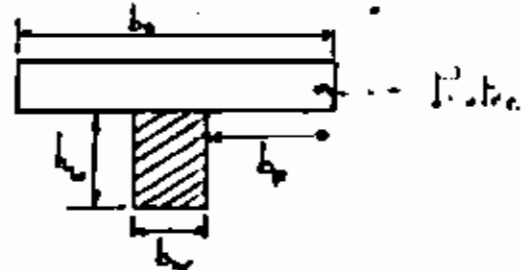
$H6$: épaisseur de dalle en design final

l'_2 : largeur d'un cadre situé dans le sens X

I_a : moment d'inertie de la dalle de largeur d'un cadre

I_b : moment d'inertie d'une poutre

I_{c2} : moment d'inertie de la poutre



d_x, d_y : rigidité relative d'une poutre dans la direction X et d'une poutre suivant Y

d_m : rigidité relative moyenne des poutres autour d'un panneau

d_{min} : rigidité relative minimale d'une poutre (donnée par la norme)

- L'_1 : largeur d'un cadre situé dans le sens de Y
 $S = l_i / l_{i+1}$: rapport de portées successives ($l_i \geq l_{i+1}$)
 w_L : charge vive sur la dalle
 w_D : charge permanente sur la dalle
 L_1, L_2 : longueurs centre à centre de travée respectivement suivant X et suivant Y
 L_n : longueur face à face des appuis de travée
 K_d : rigidité en flexion de la dalle
 K_b : rigidité en flexion de la poutre
 C_m : constante de torsion maximale de la poutre obtenue en envisageant 2 divisions possibles de la section en petits rectangles : $C = \sum (1 - 0.63 \frac{x}{y}) \frac{x^3 y^3}{3}$ x : petit côté
 y : grand côté
 K_t : rigidité en torsion de la poutre
 M_0 : moment statique total d'une travée
 K_c : rigidité en flexion de la colonne en-dessous et de la colonne en-dessus de la dalle
 K_{ec} : rigidité de la colonne équivalente
 $\beta_n = w_D / w_L$ $\delta_n = 1 + \frac{2 - \beta_n}{4 + \beta_n} \left(1 - \frac{d_c}{d_{min}} \right)$
 $\alpha_c = K_c / \sum (K_b + K_s)$: rigidité relative des colonnes
 $\alpha_{ec} = K_{ec} / \sum (K_b + K_s)$: rigidité relative de la colonne équivalente
 M_1 : moment négatif à gauche de la travée
 M_2 : moment positif au centre de la travée
 M_3 : moment négatif à droite de la travée
 X_1, X_2, X_3 : pourcentages de moments positifs et négatifs allant dans la bande colonne

$$X1 = 100 - 10f_c + 12 f_c \left[\alpha_1 \frac{l'_2}{L1} \right] \left(1 - \frac{l'_2}{L1} \right) : \text{negatif exterieur}$$

$$X3 = 75 + 30 \left[\alpha_1 \frac{l'_2}{L1} \right] \left(1 - \frac{l'_2}{L1} \right) : \text{negatif interieur}$$

$$X2 = 60 + 30 \left[\alpha_1 \frac{l'_2}{L1} - \left(1.5 - \frac{l'_2}{L1} \right) \right] : \text{positif}$$

Dans la direction Y on remplace α_1 par α_2 , l'_2 par l'_1 et $L1$ par $L2$ pour avoir $X1$, $X2$ et $X3$.

M_{c1}, M_{c2}, M_{c3} : moments positifs et negatifs dans la bande de colonne

Z : pourcentage de moment dans la bande de colonne qui sera repris par la poutre

M_{p1}, M_{p2}, M_{p3} : moments positifs et negatifs dans la poutre

f_{bal} : rapport d'armature correspondant à la condition de balance.

f_{min} : rapport minimum d'armature correspondant à l'armature de retrait et la dilatation)

s_{max} : espacement maximum des barres d'armature

A_s : quantité d'acier pour reprendre un moment M

ρ : rapport d'armature : $A_s / b d$

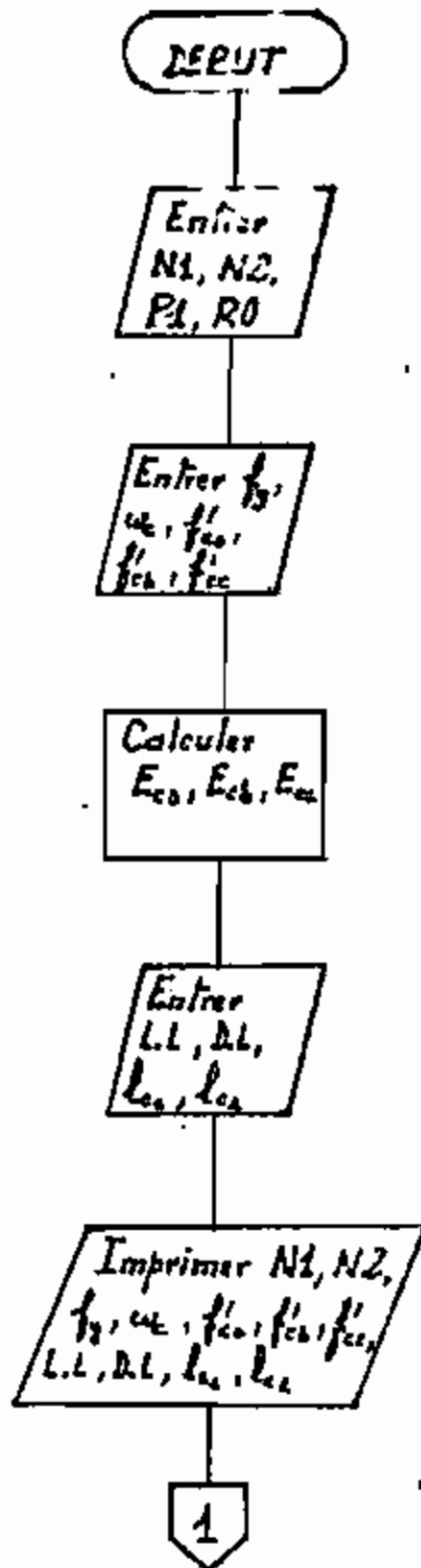
b : largeur de l'élément

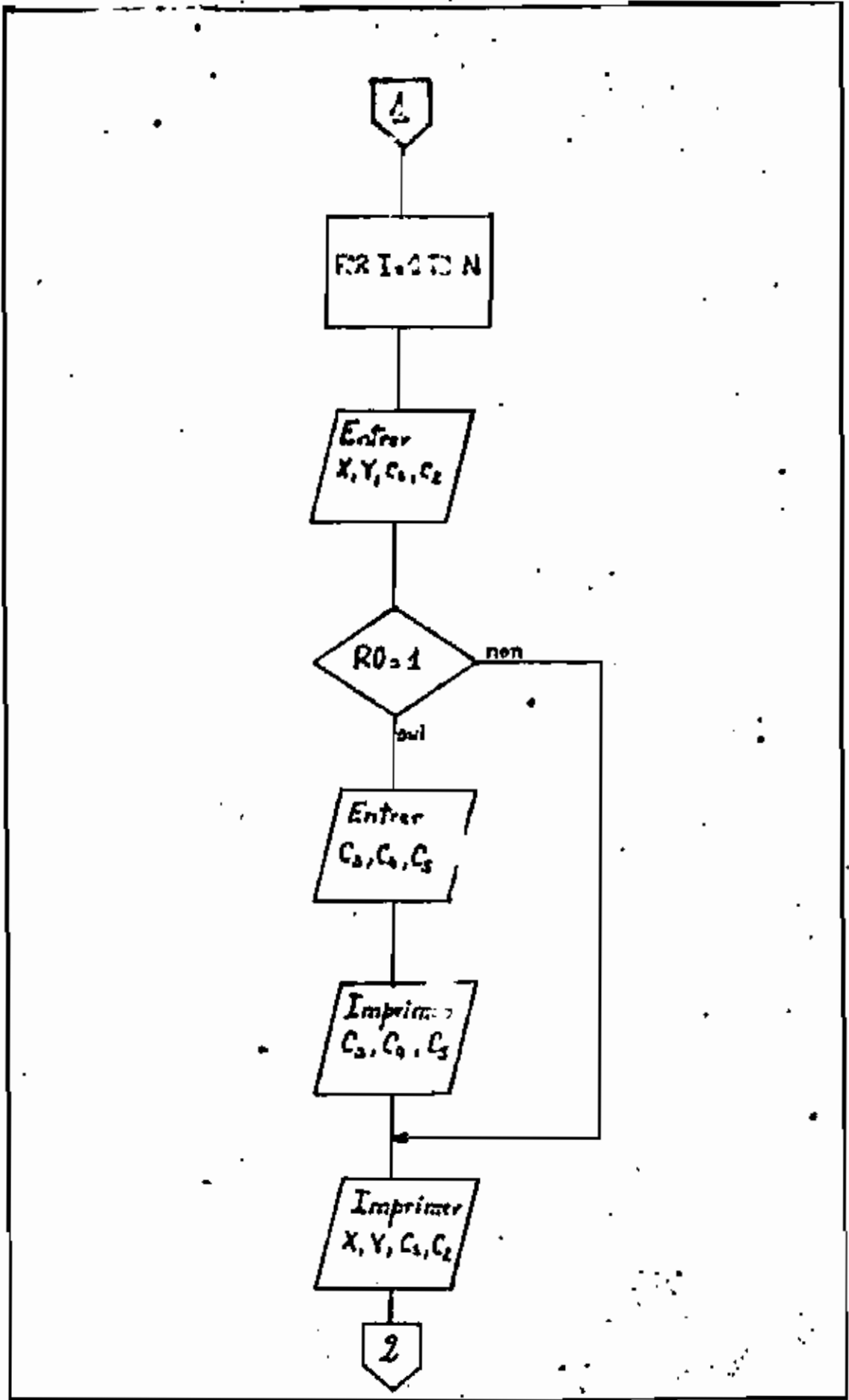
d : épaisseur utile de la dalle = $H_b - \text{enrobage} - \frac{\phi_{barre}}{2}$

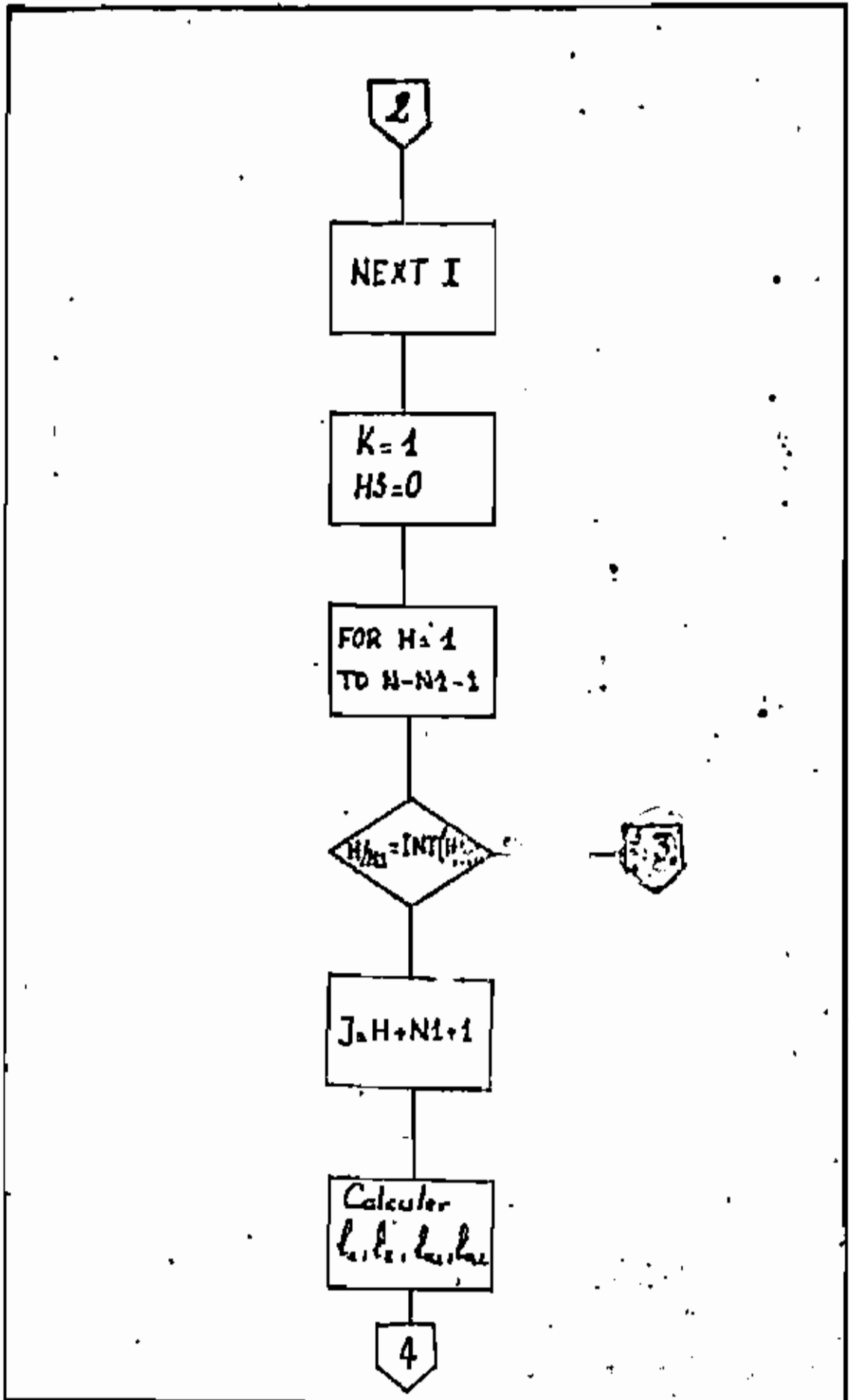
s : espacement réel des barres

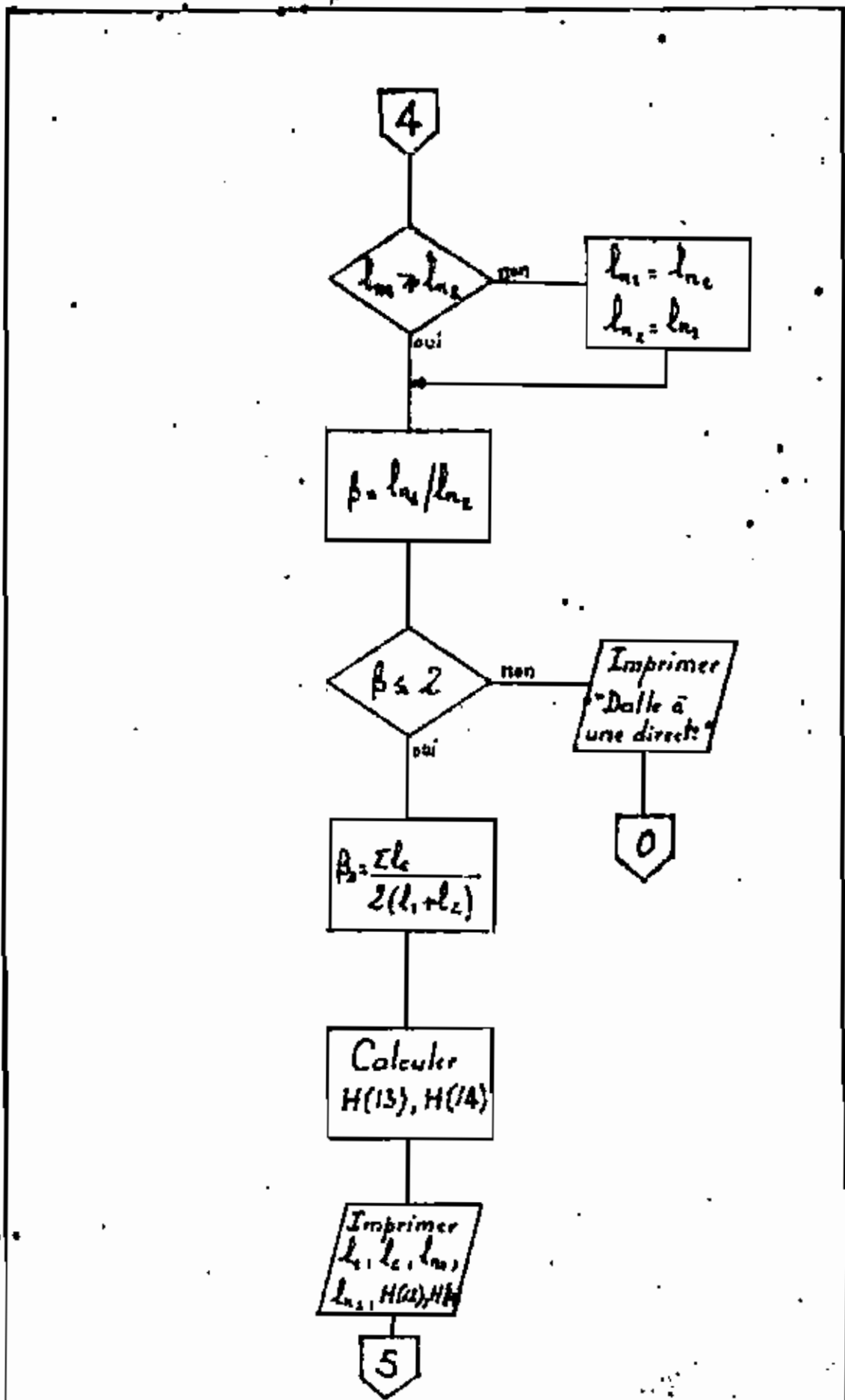
n : nombre de barres sur la largeur b :

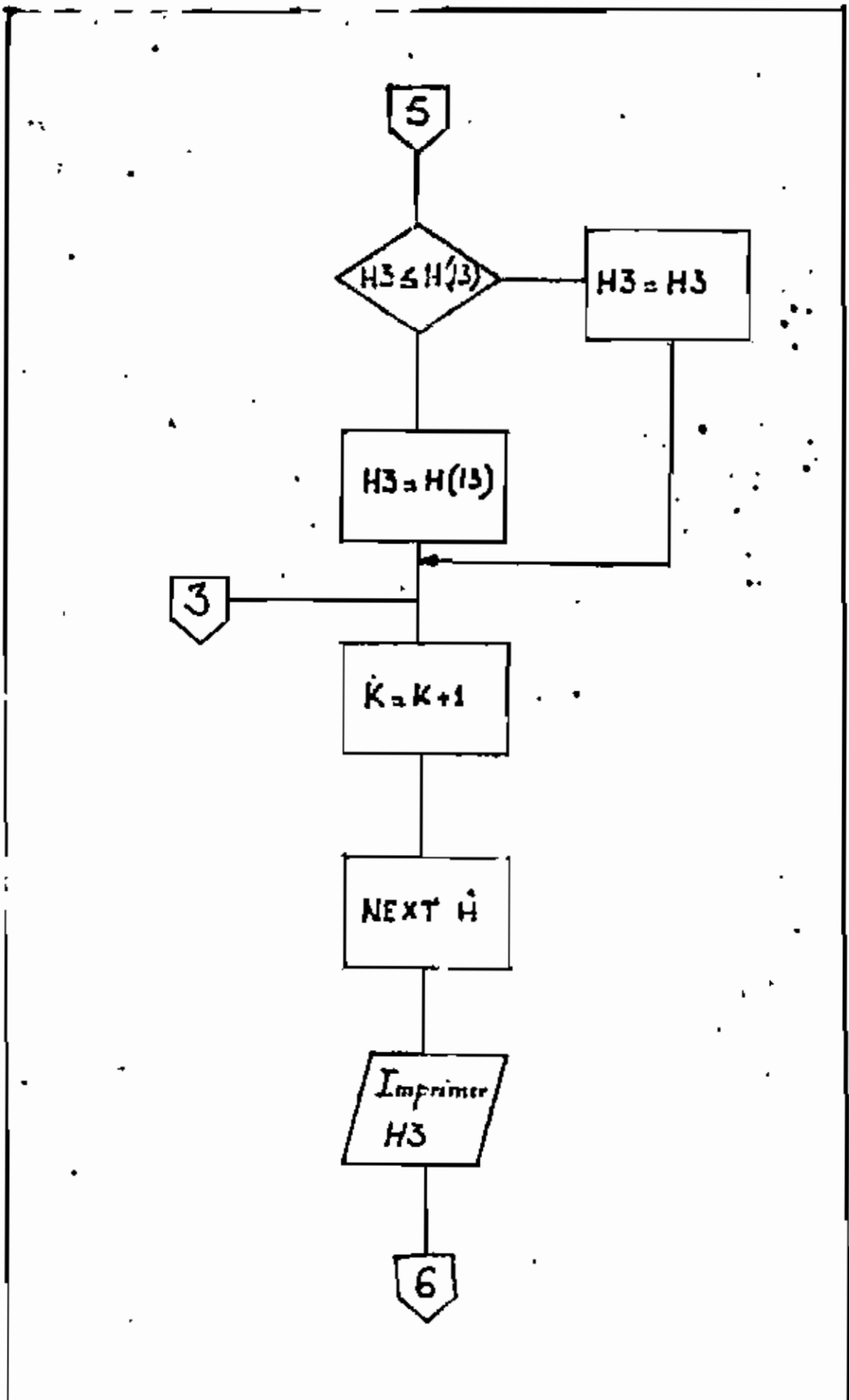
IV.2 ORGANIGRAMME

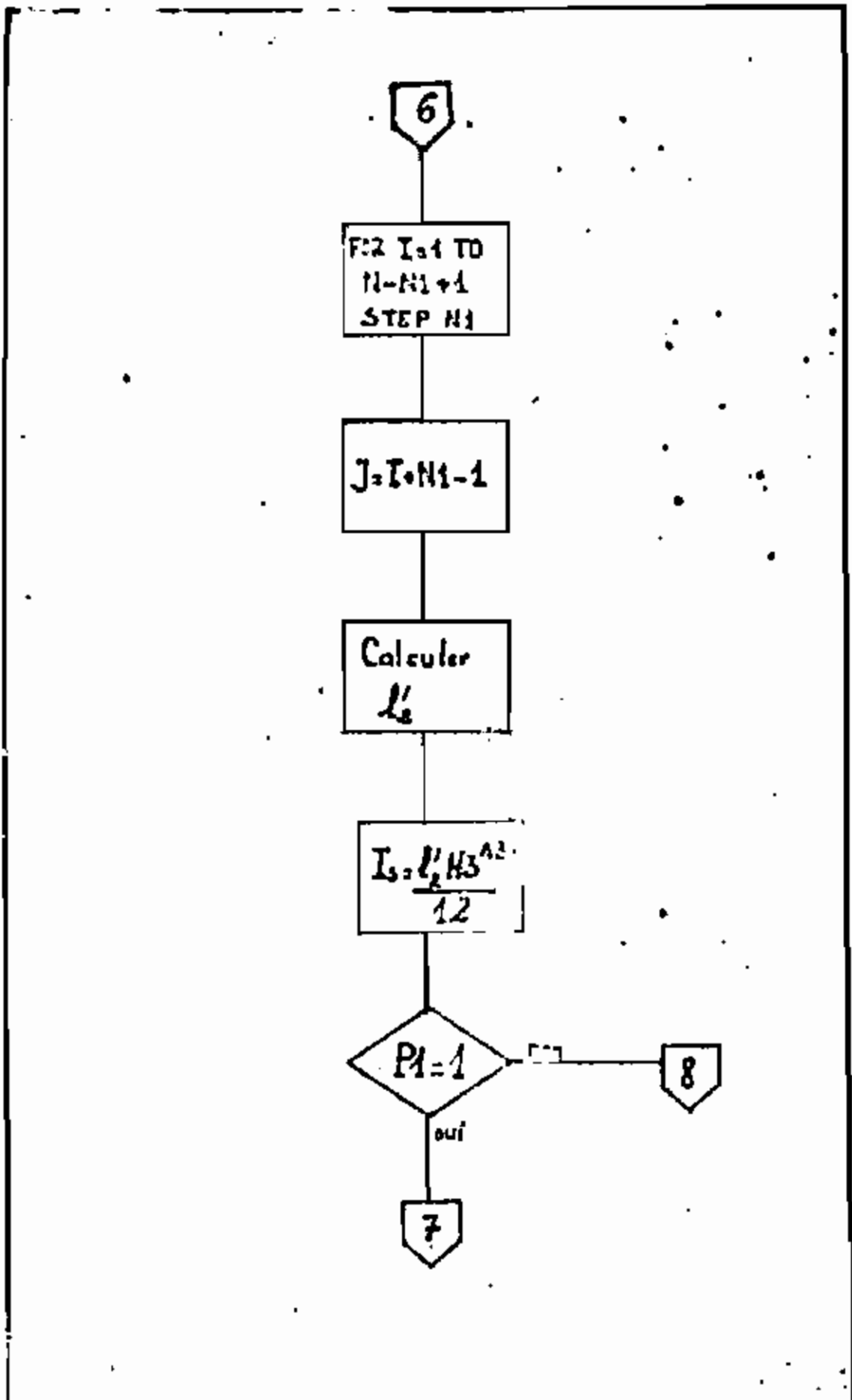


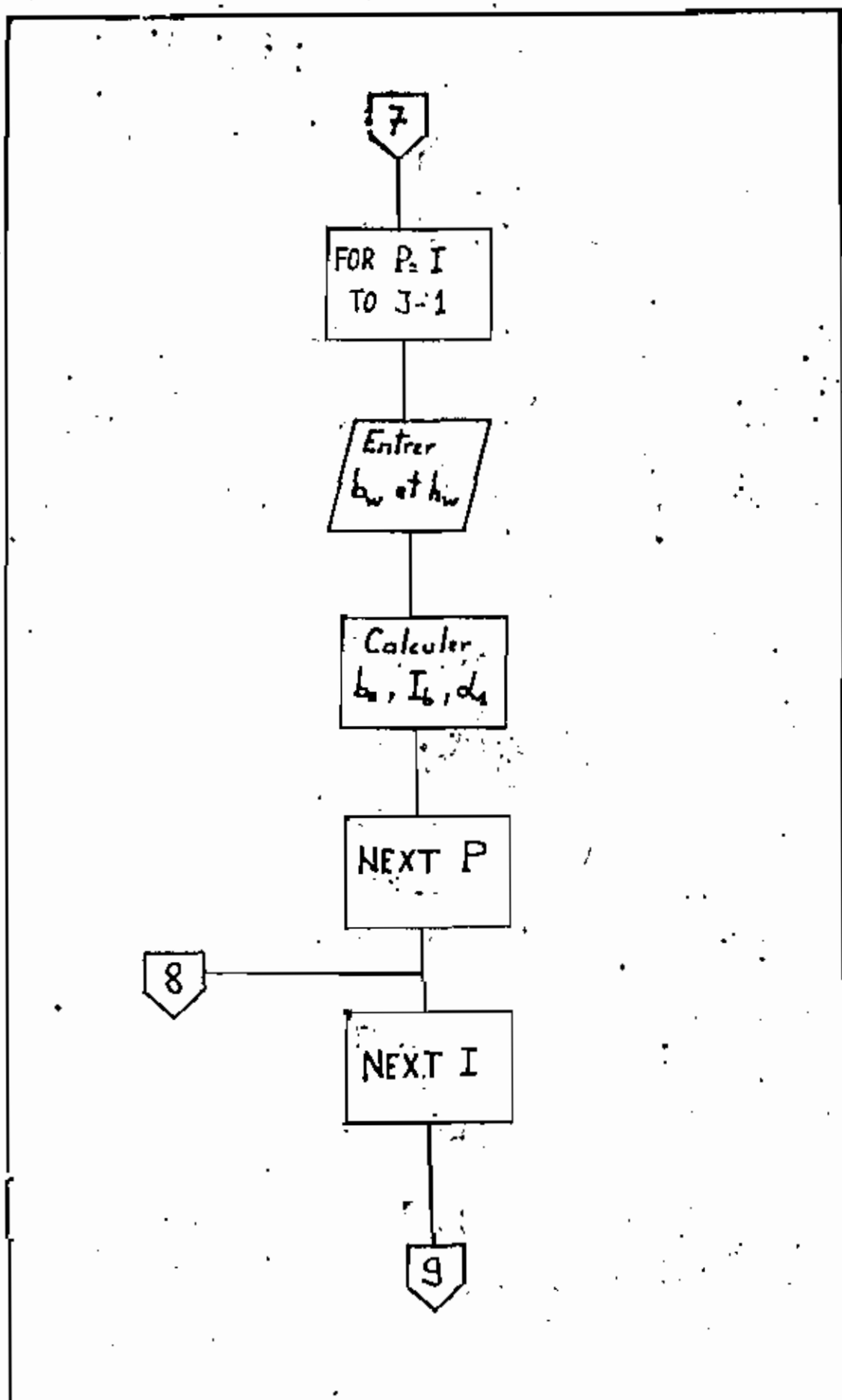


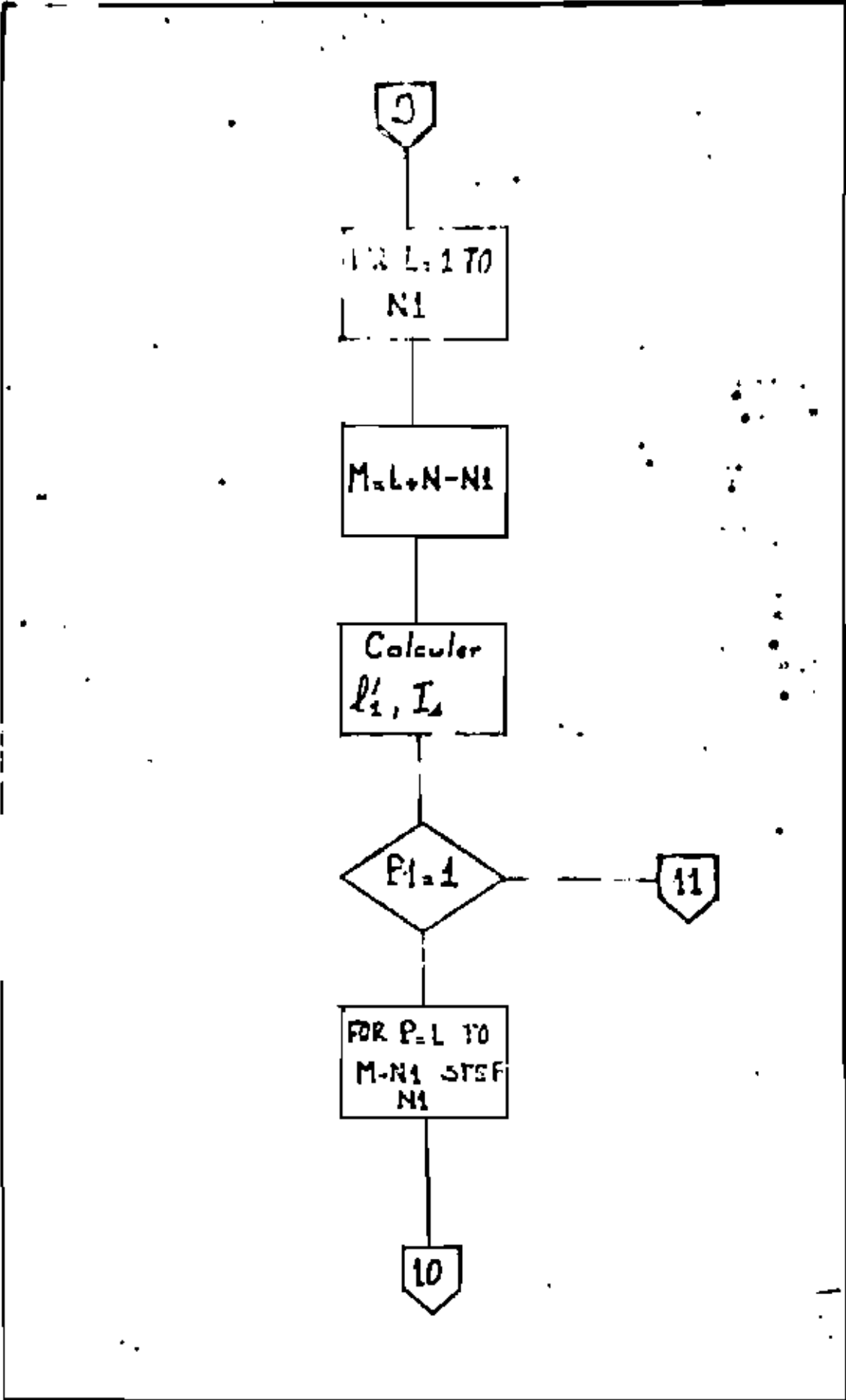


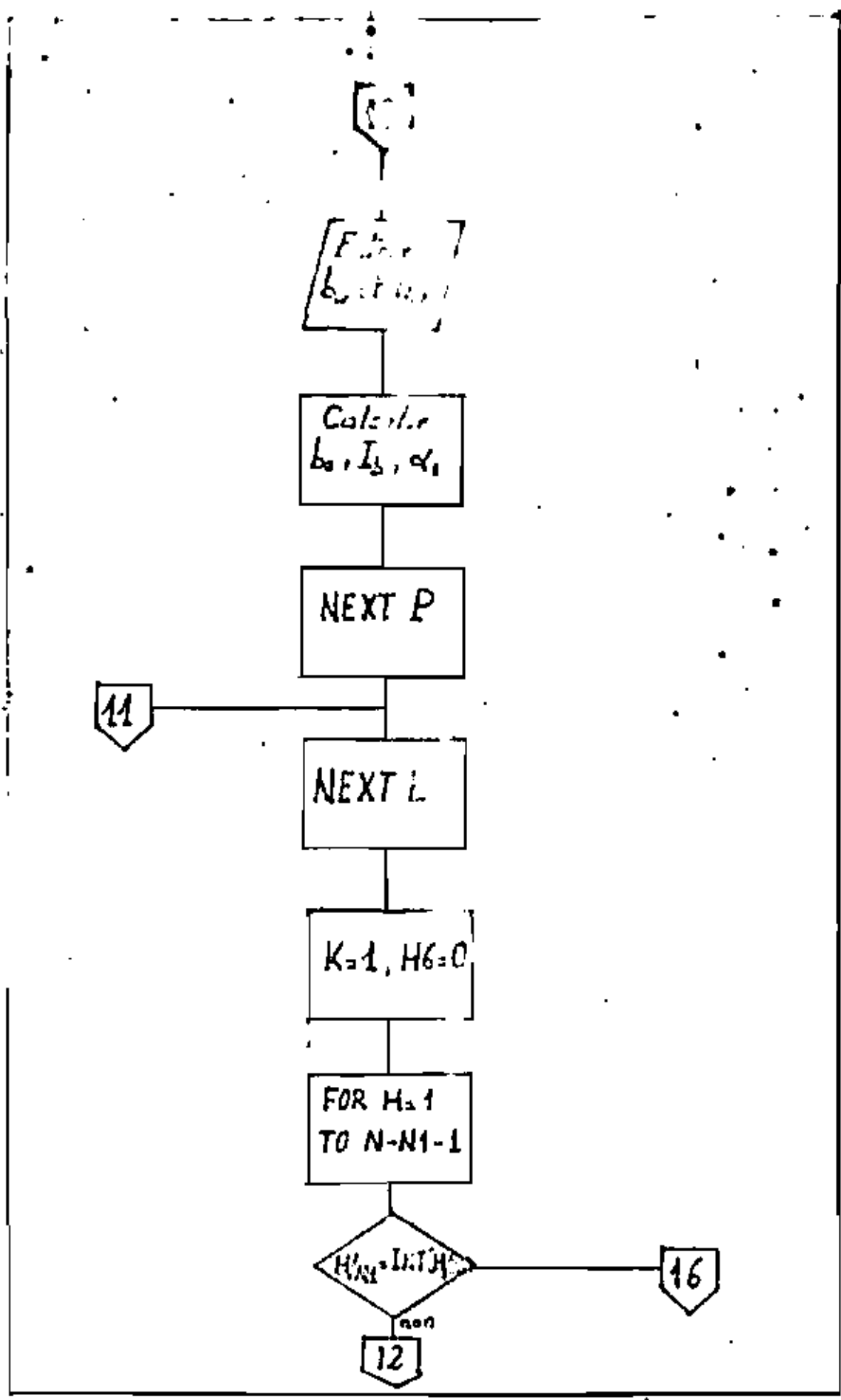


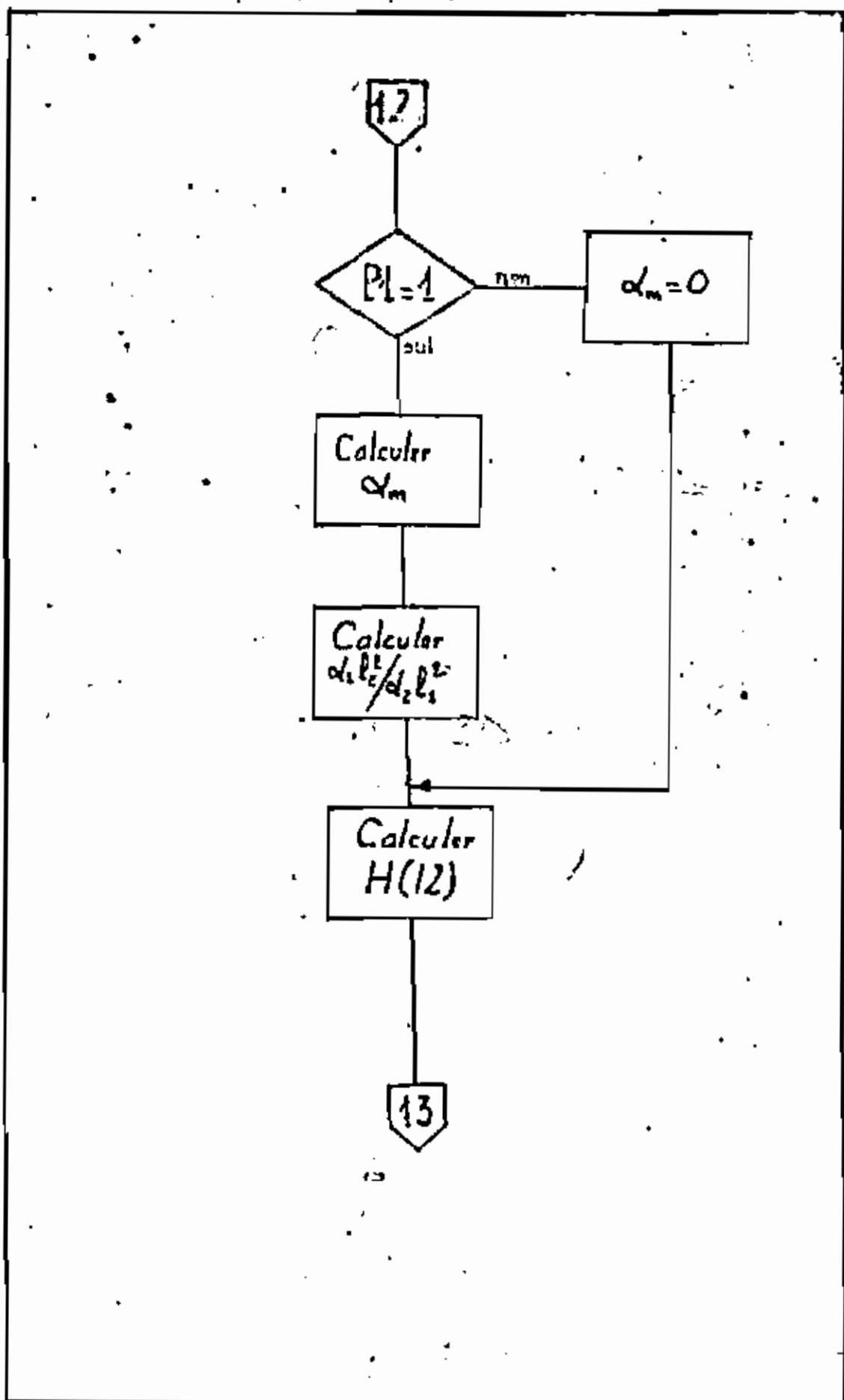


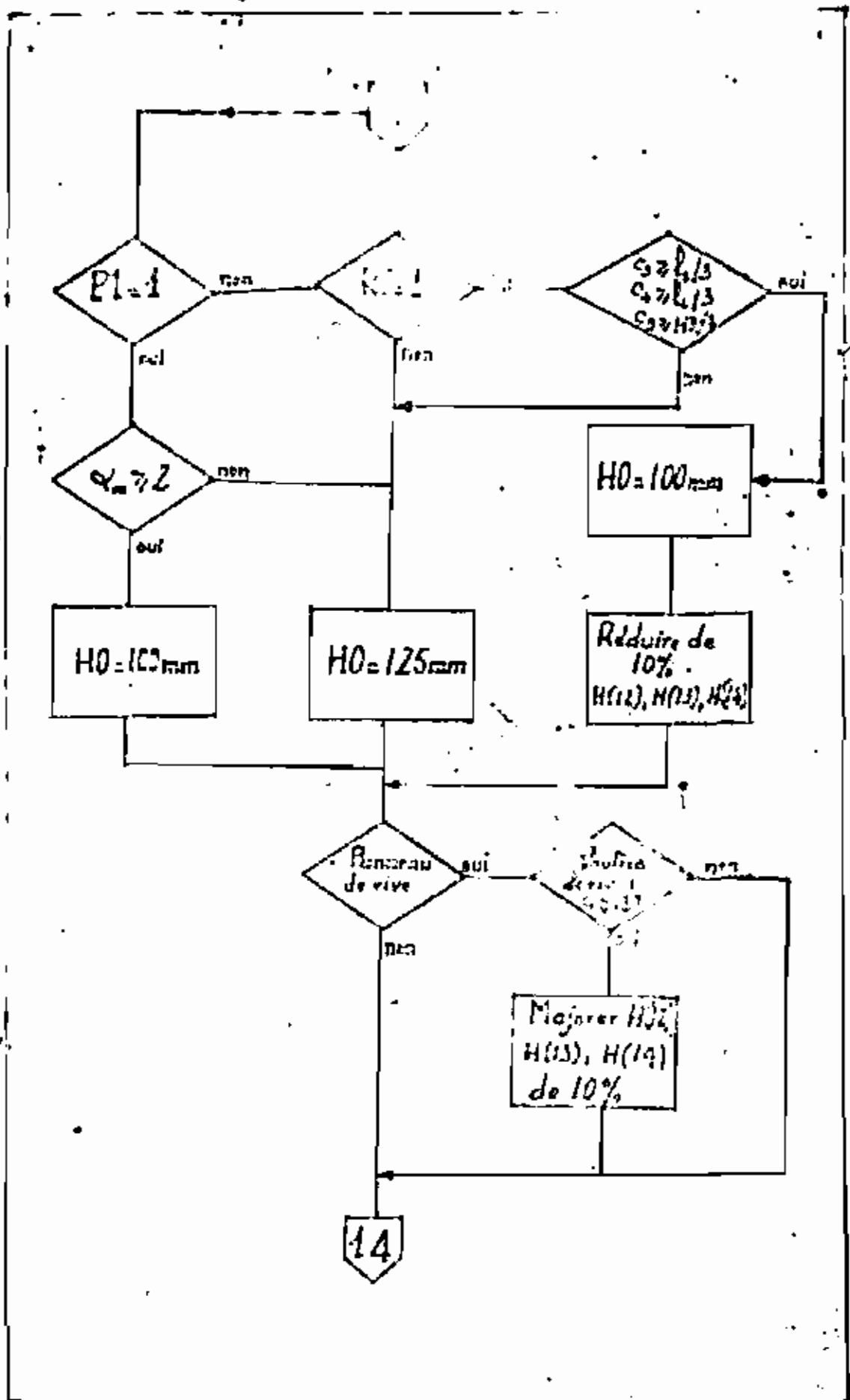


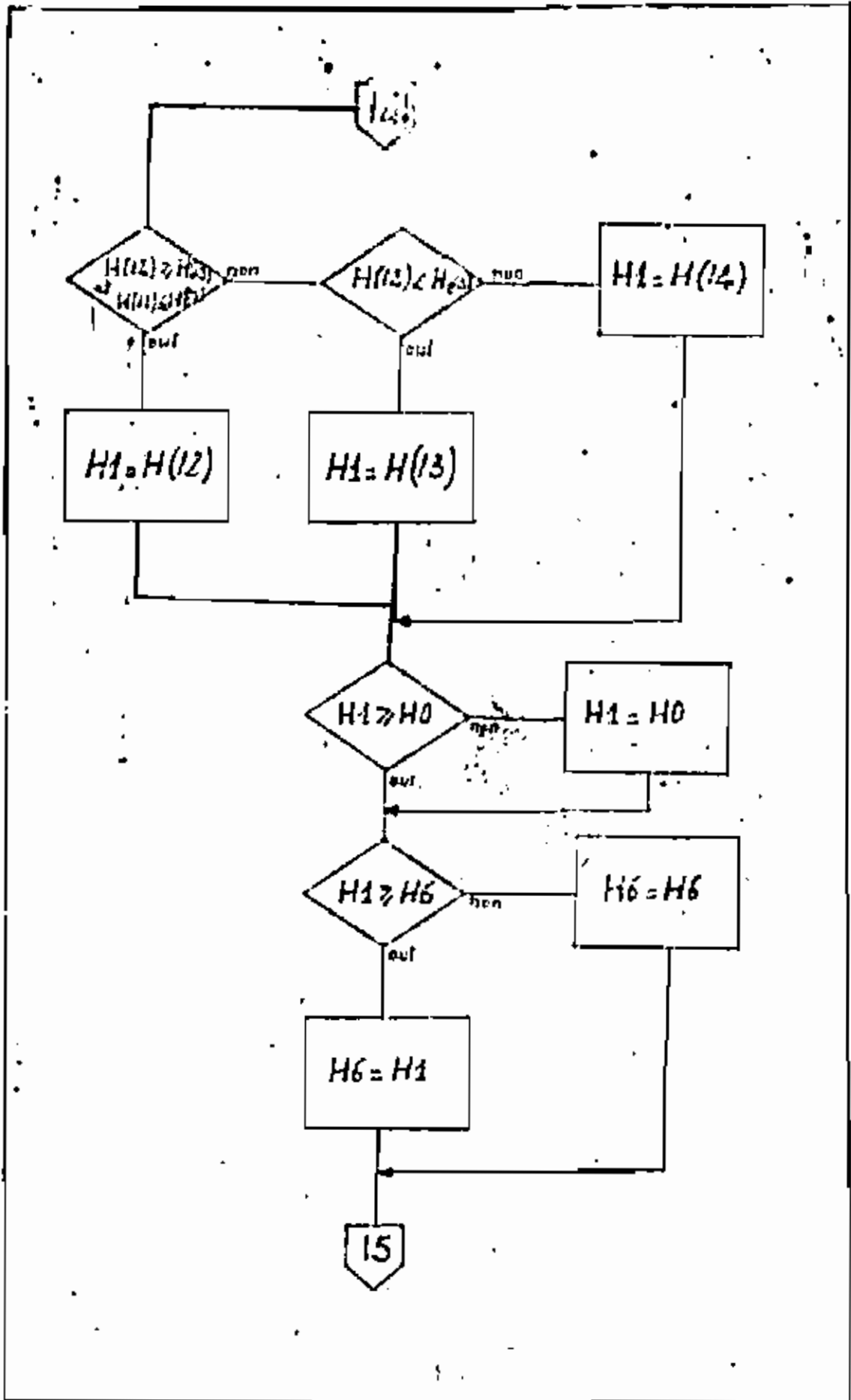


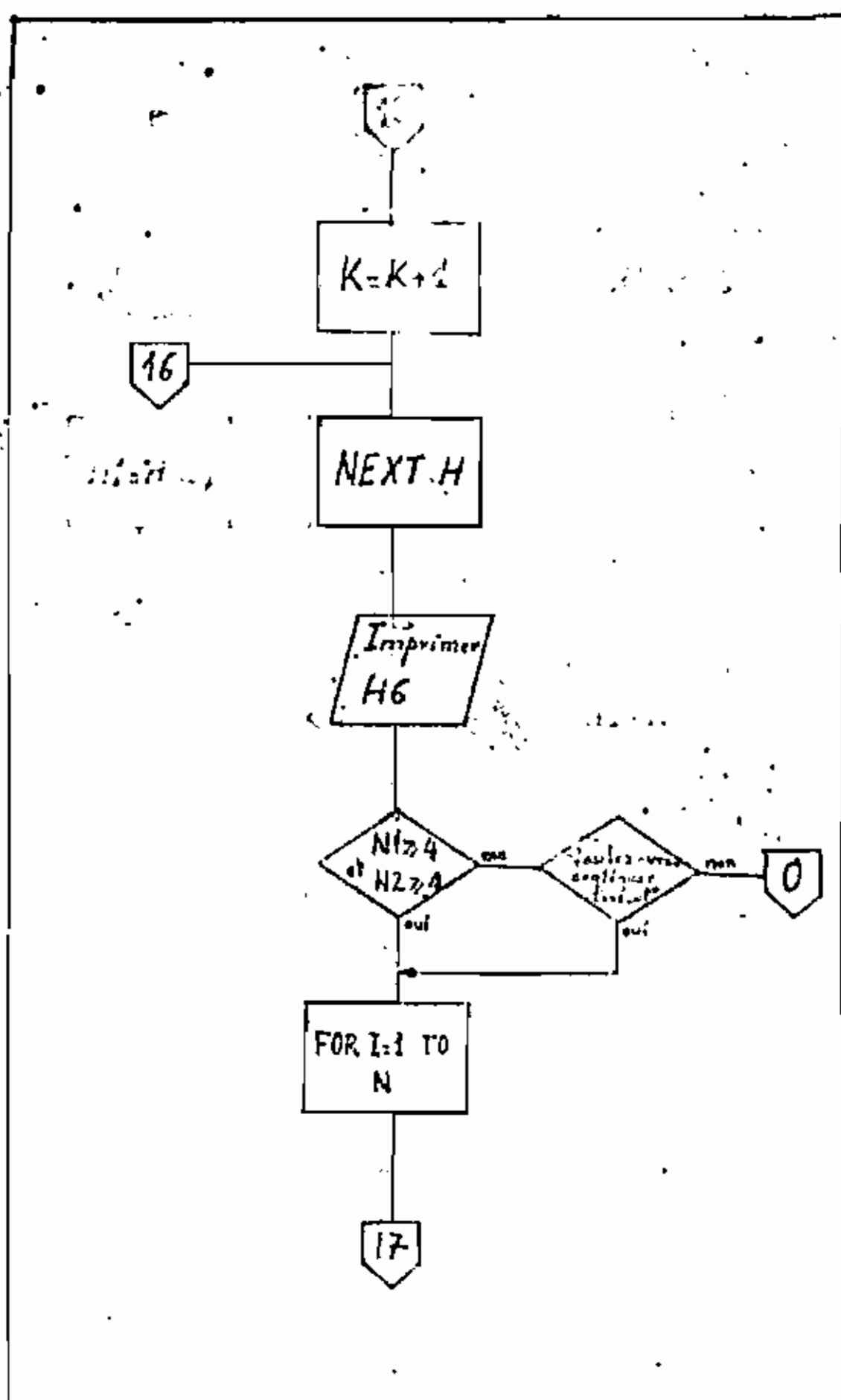


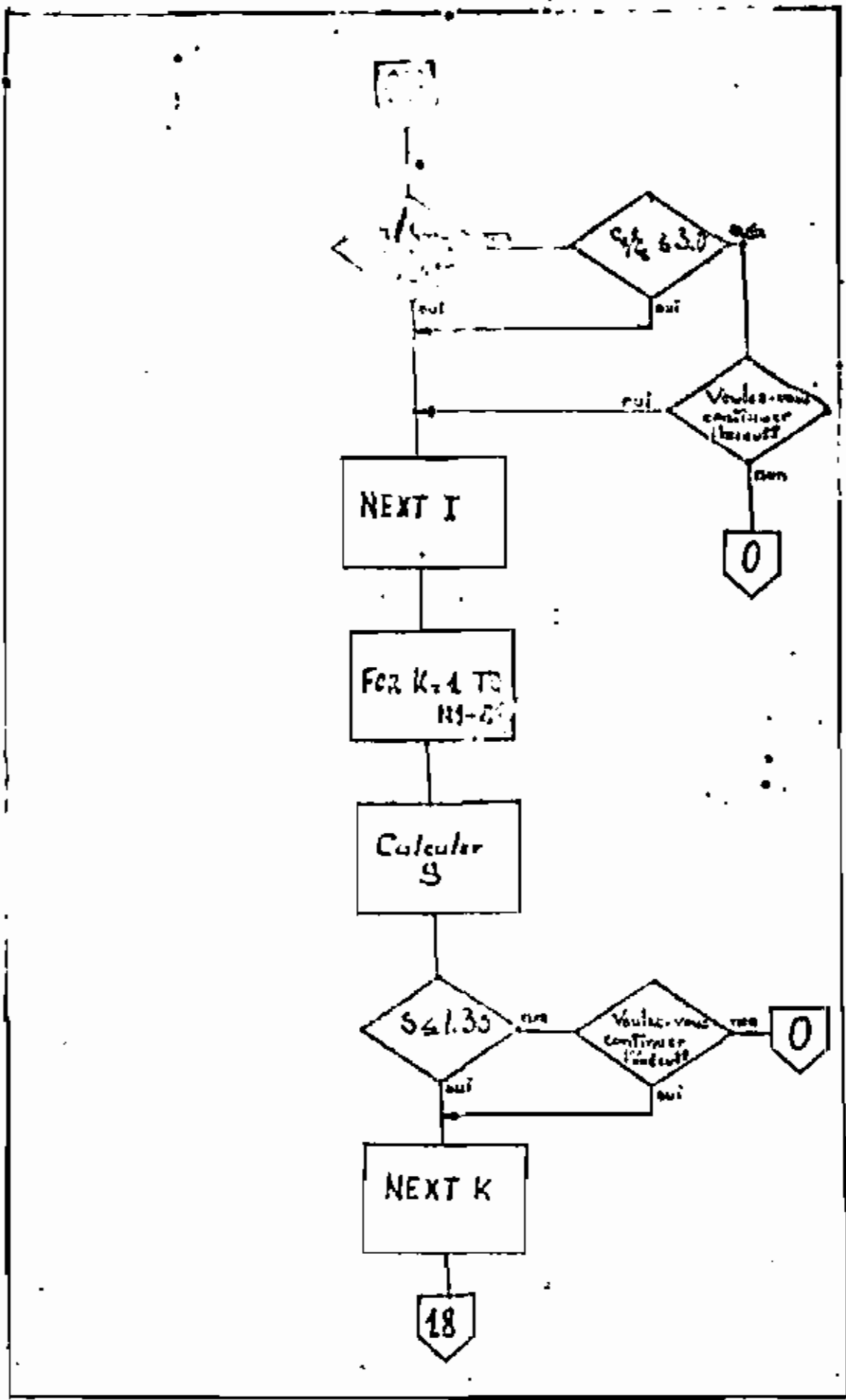


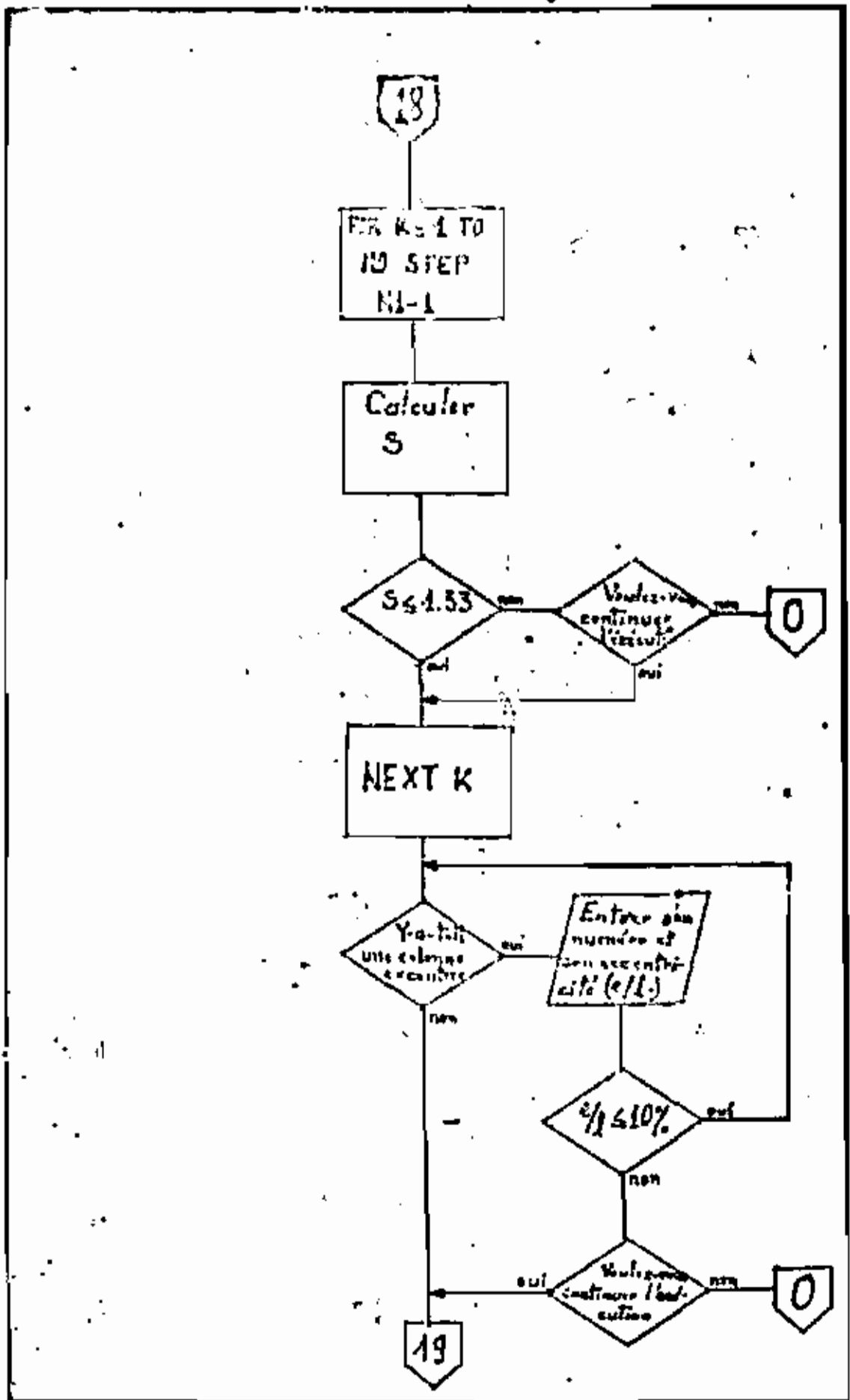


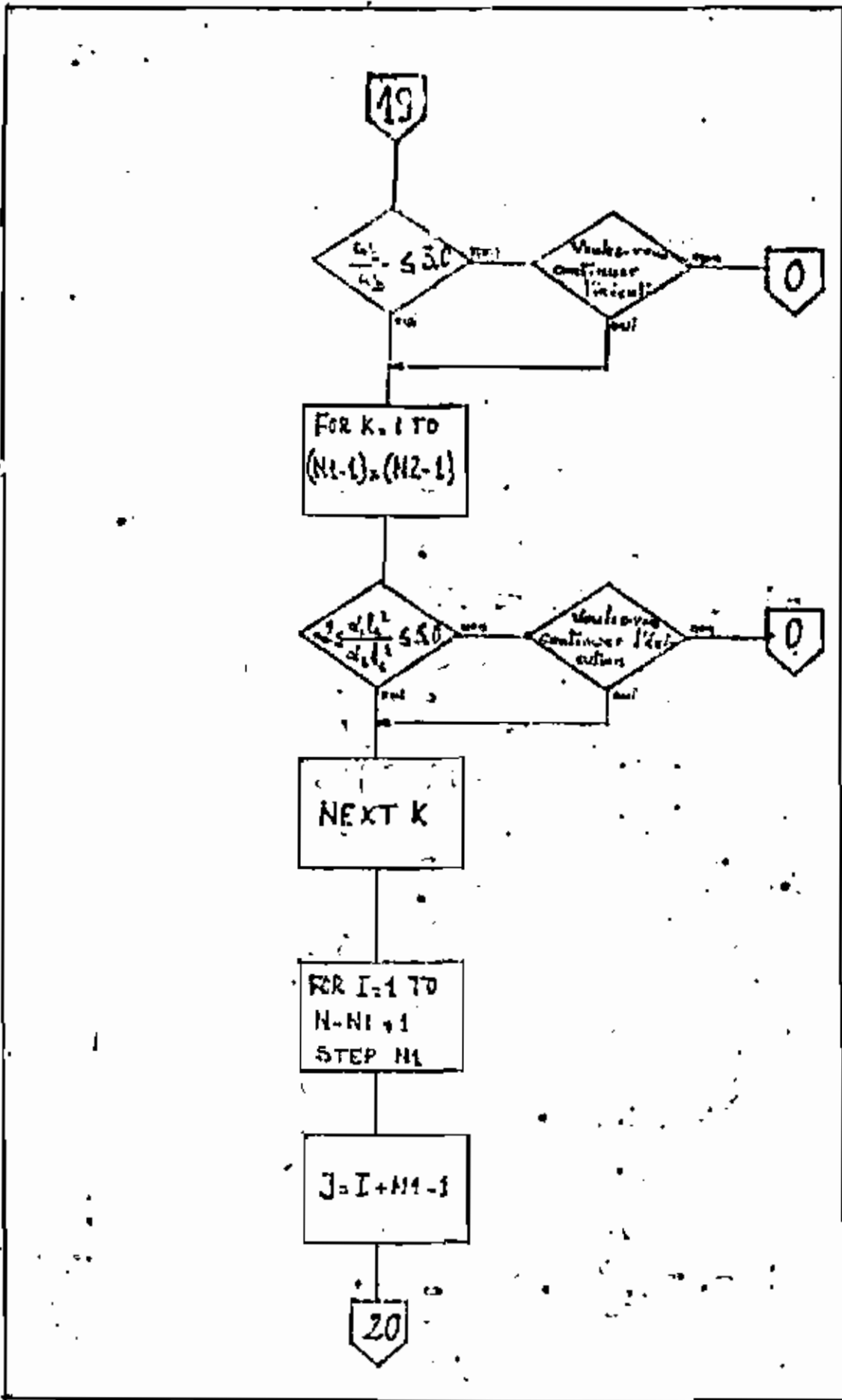


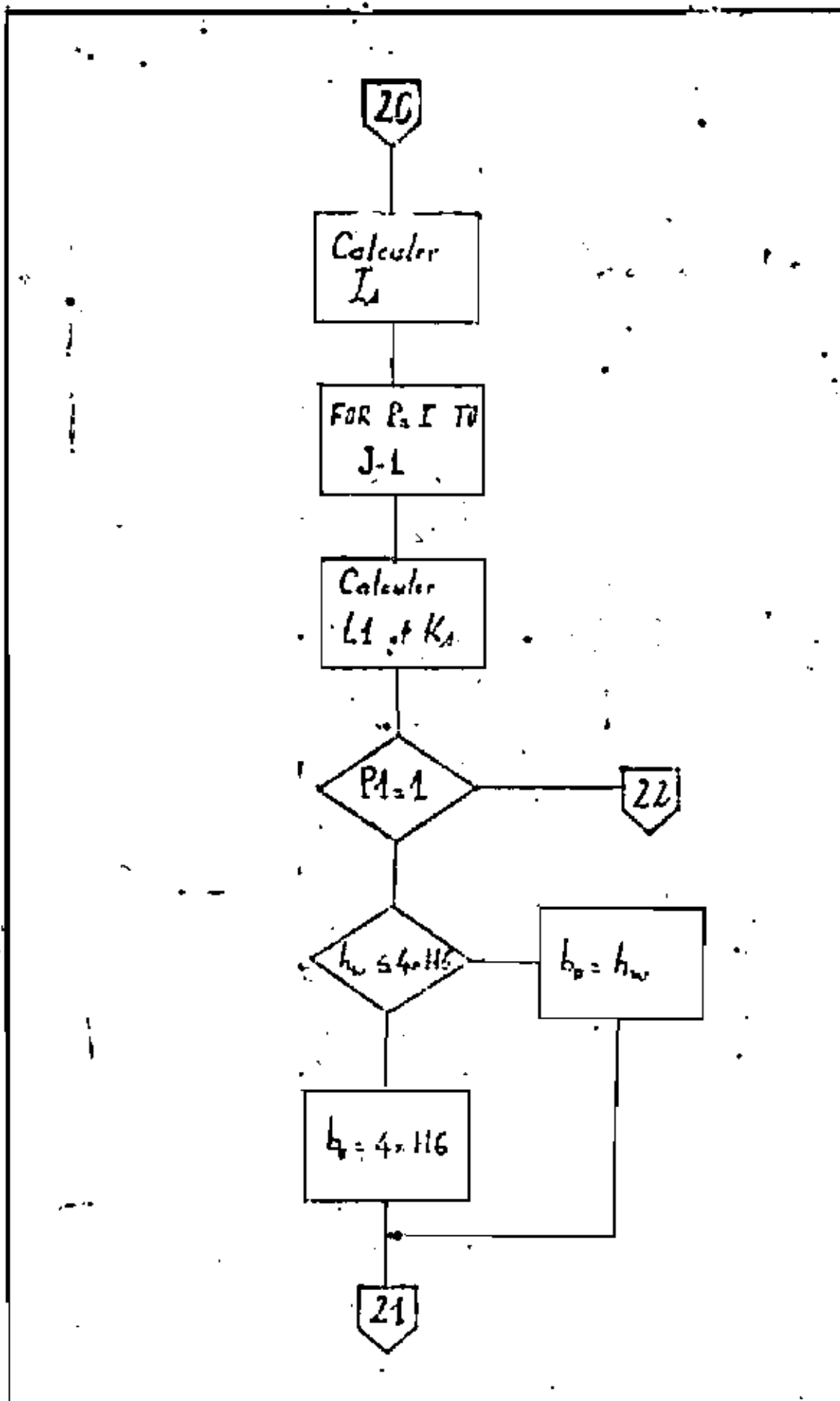


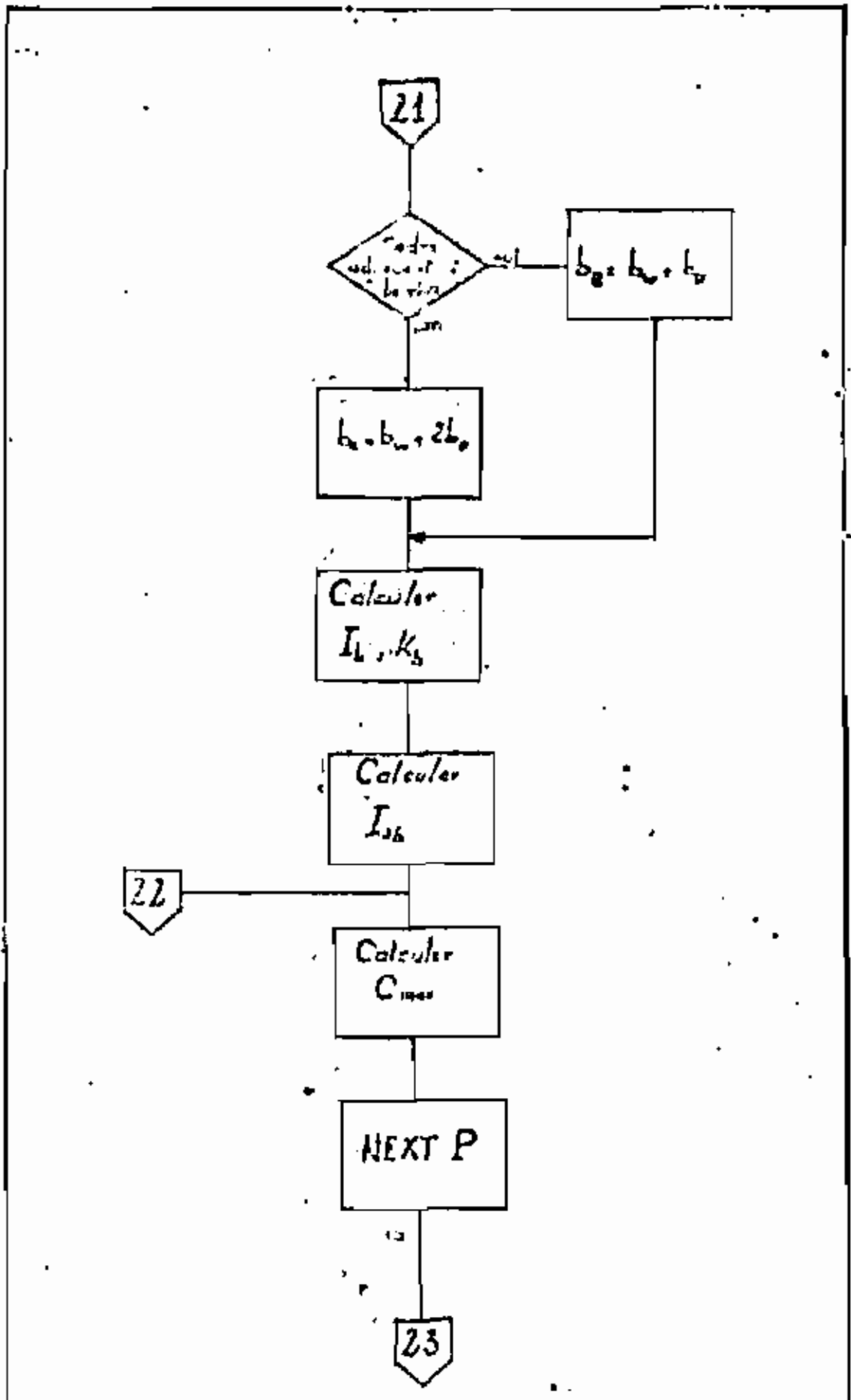


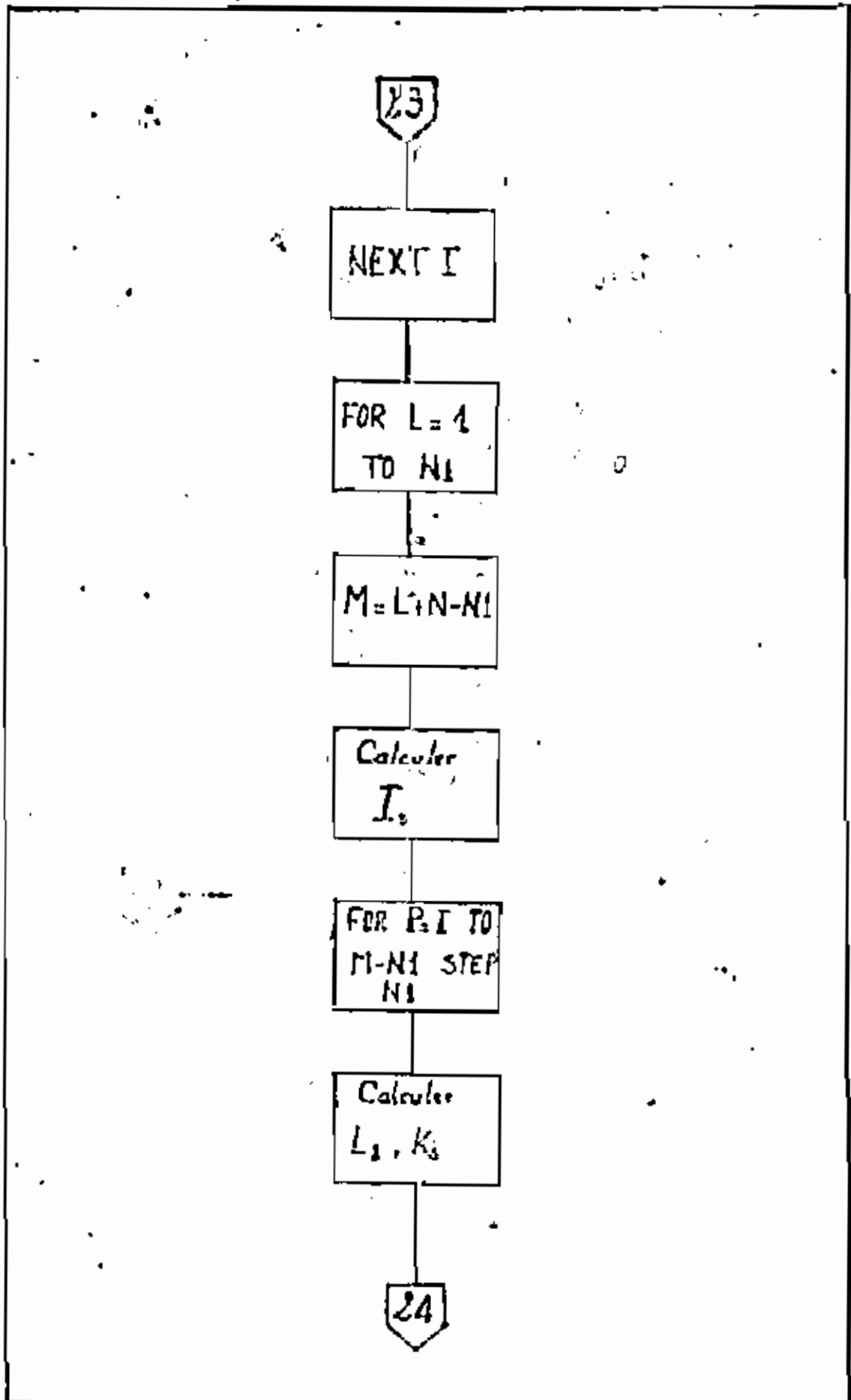


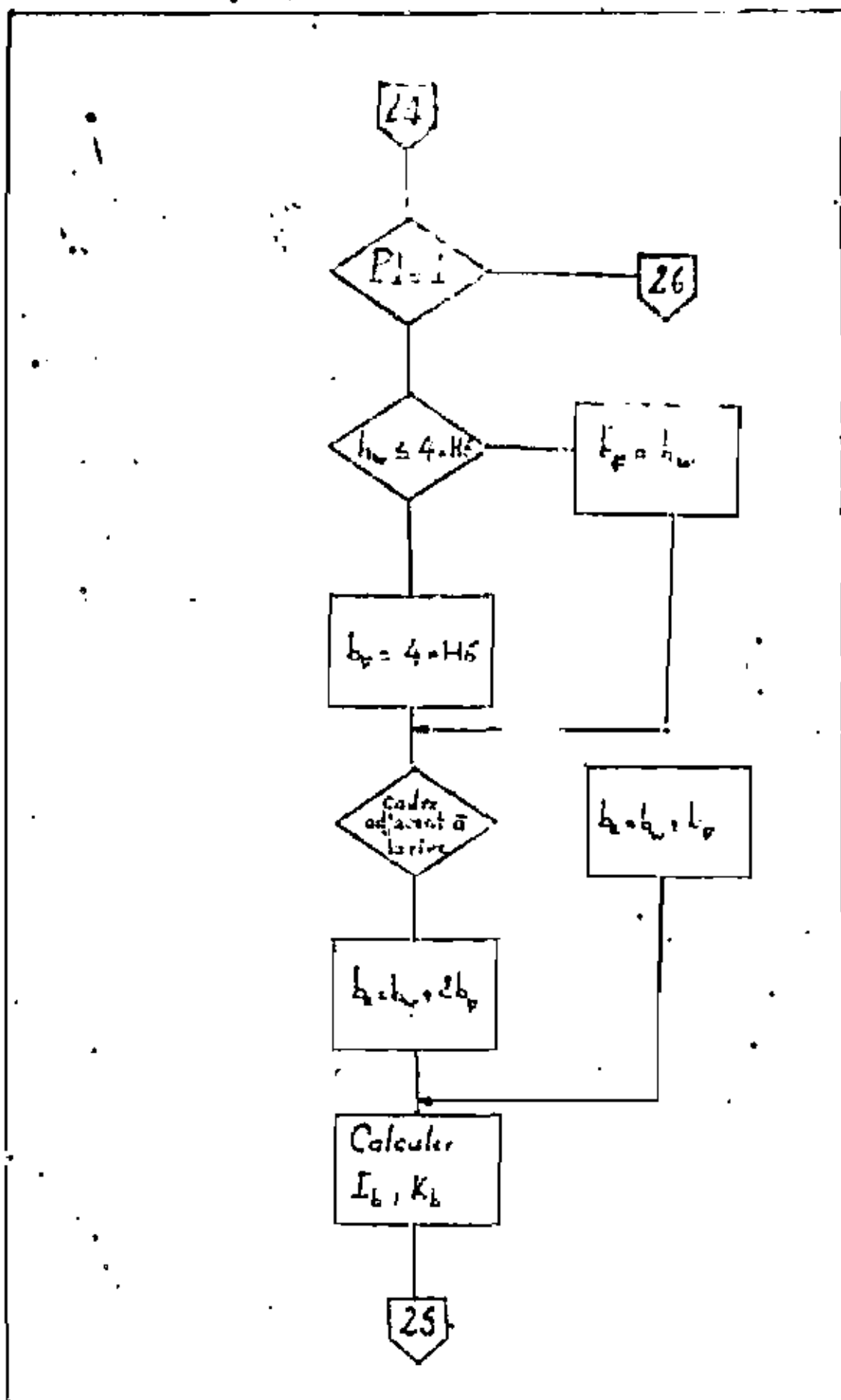


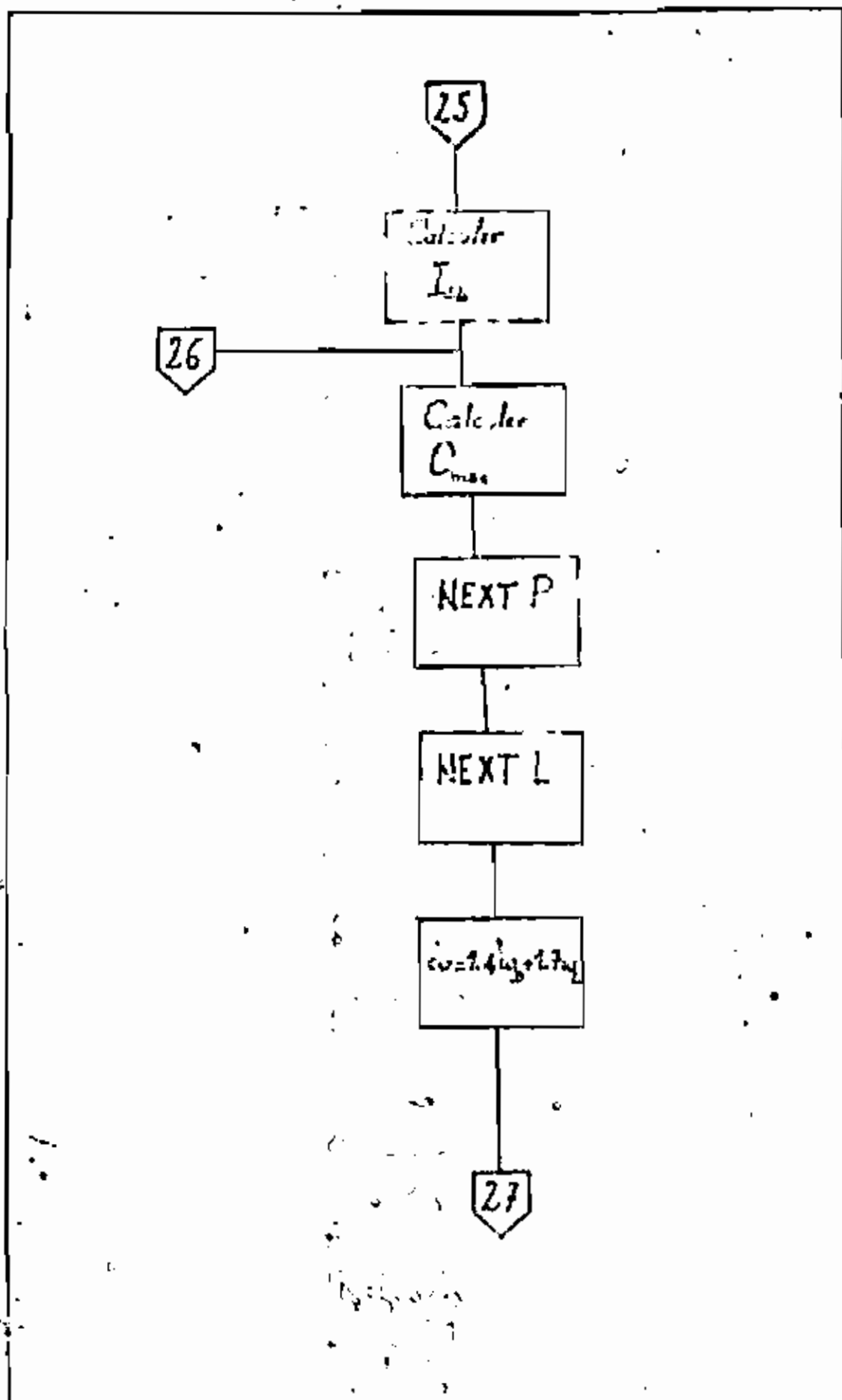


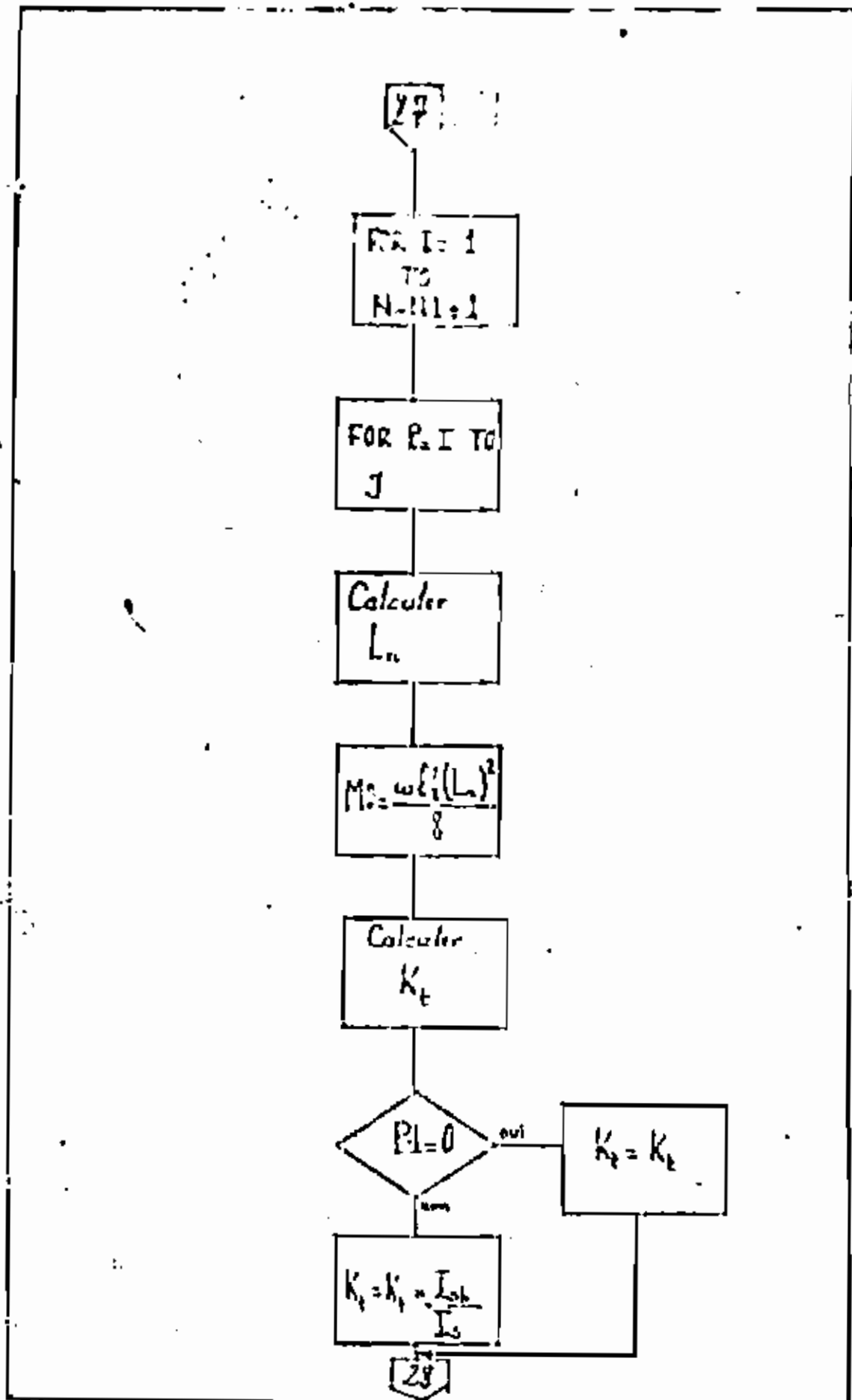


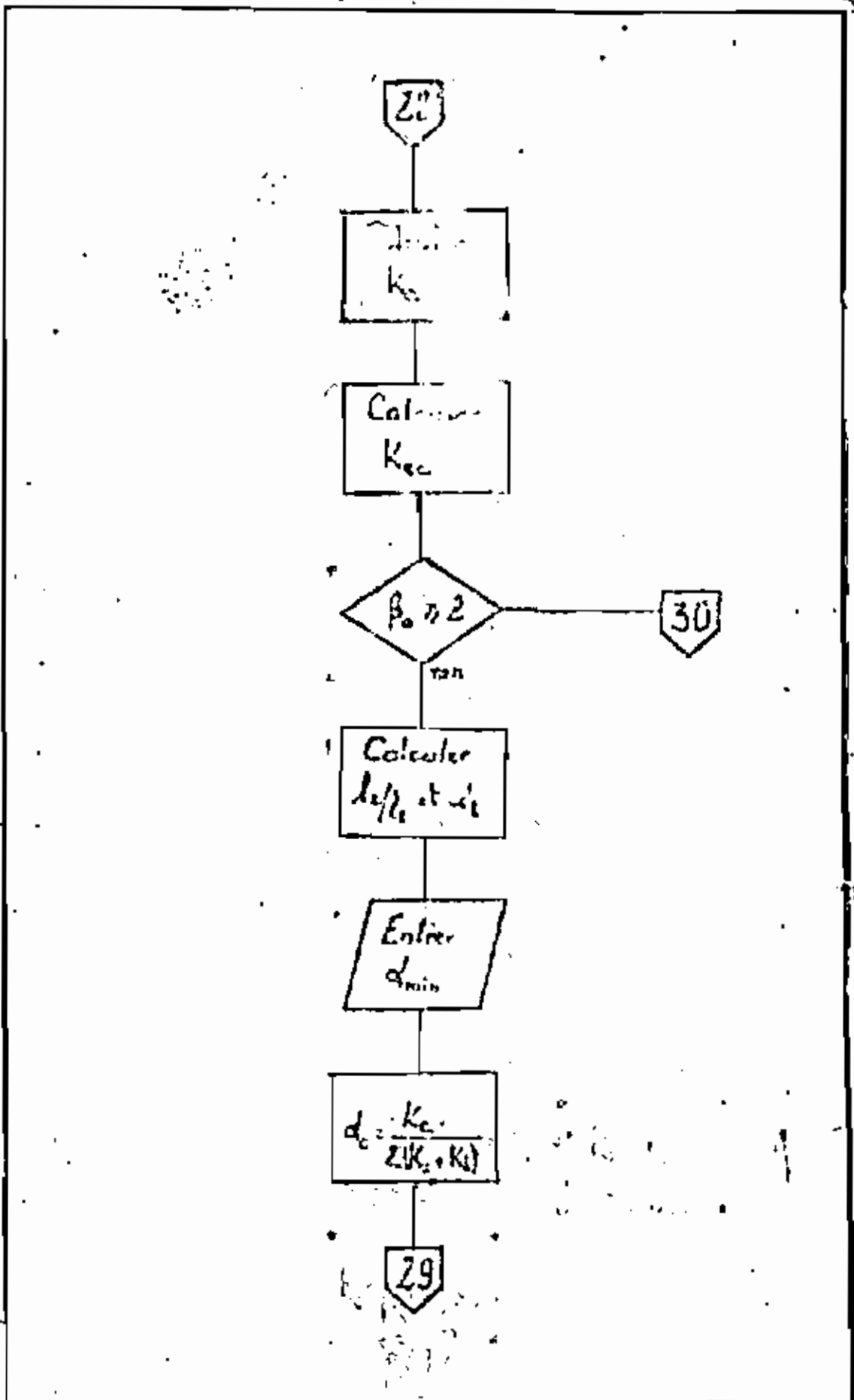


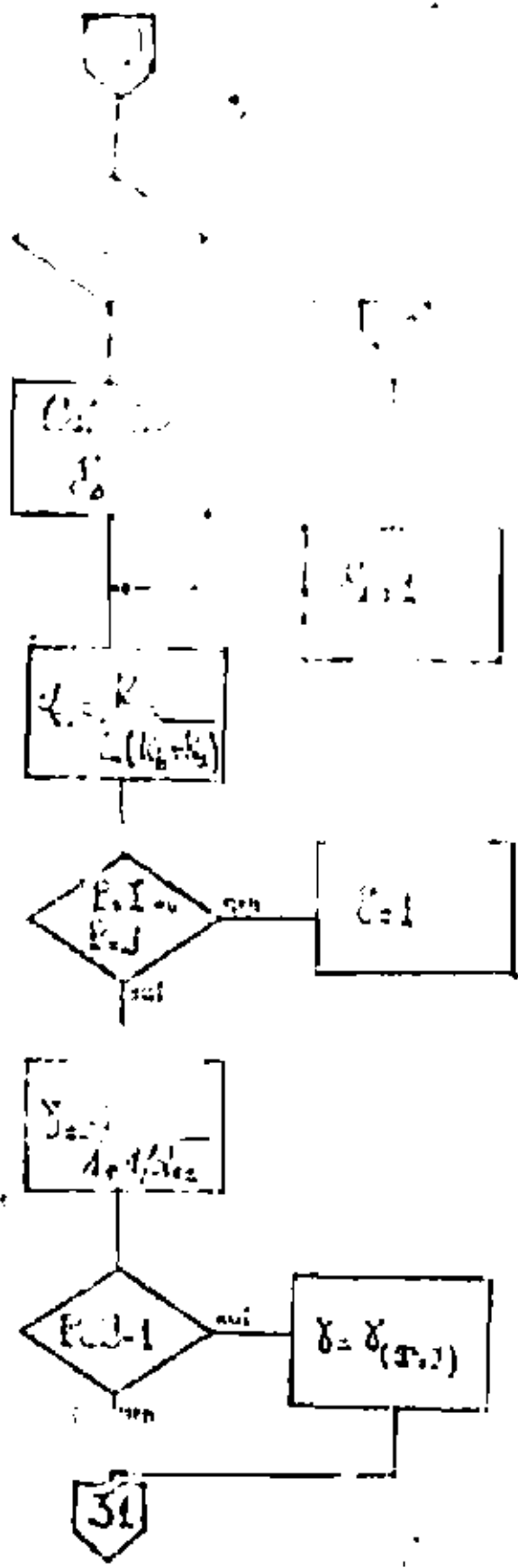


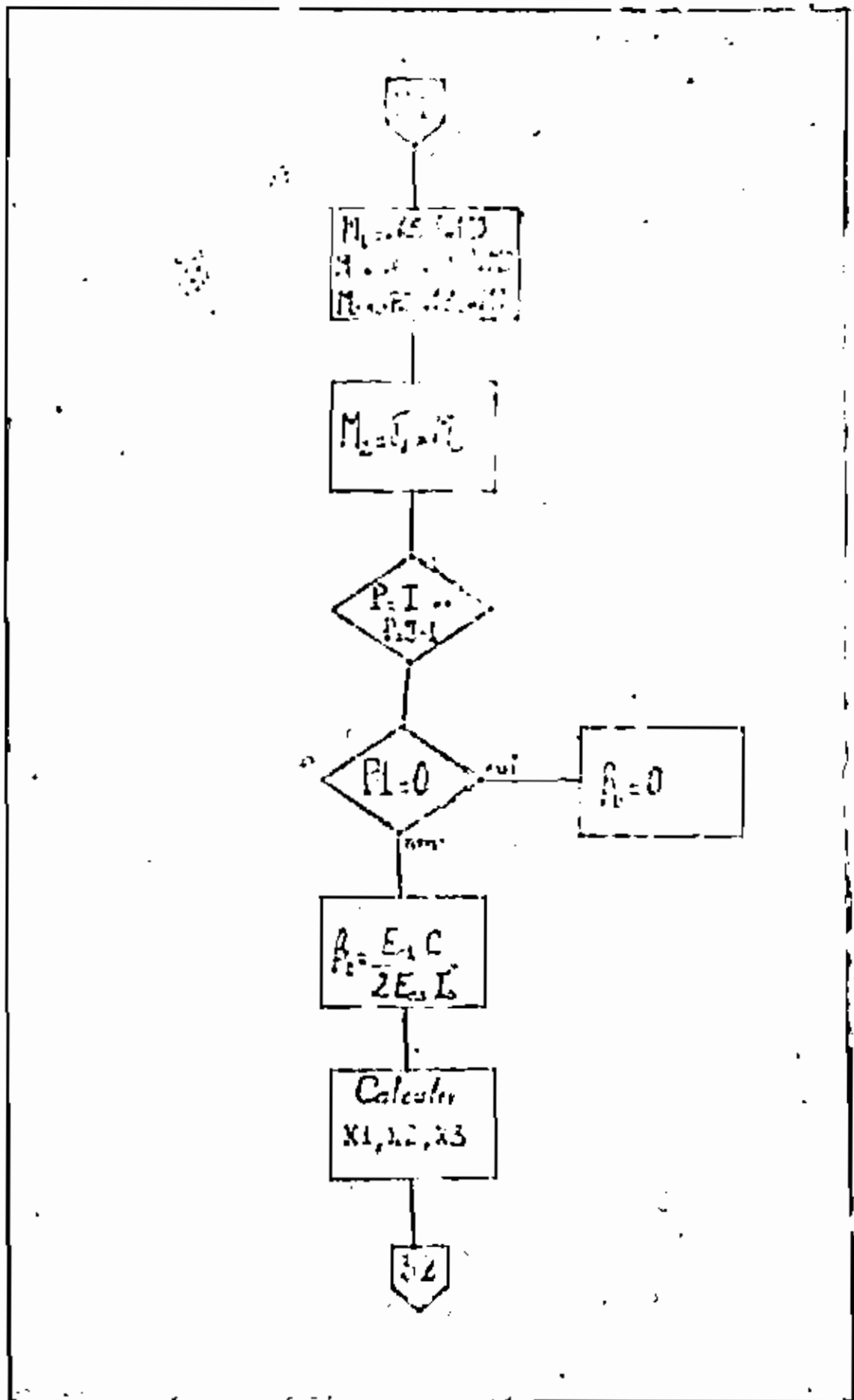


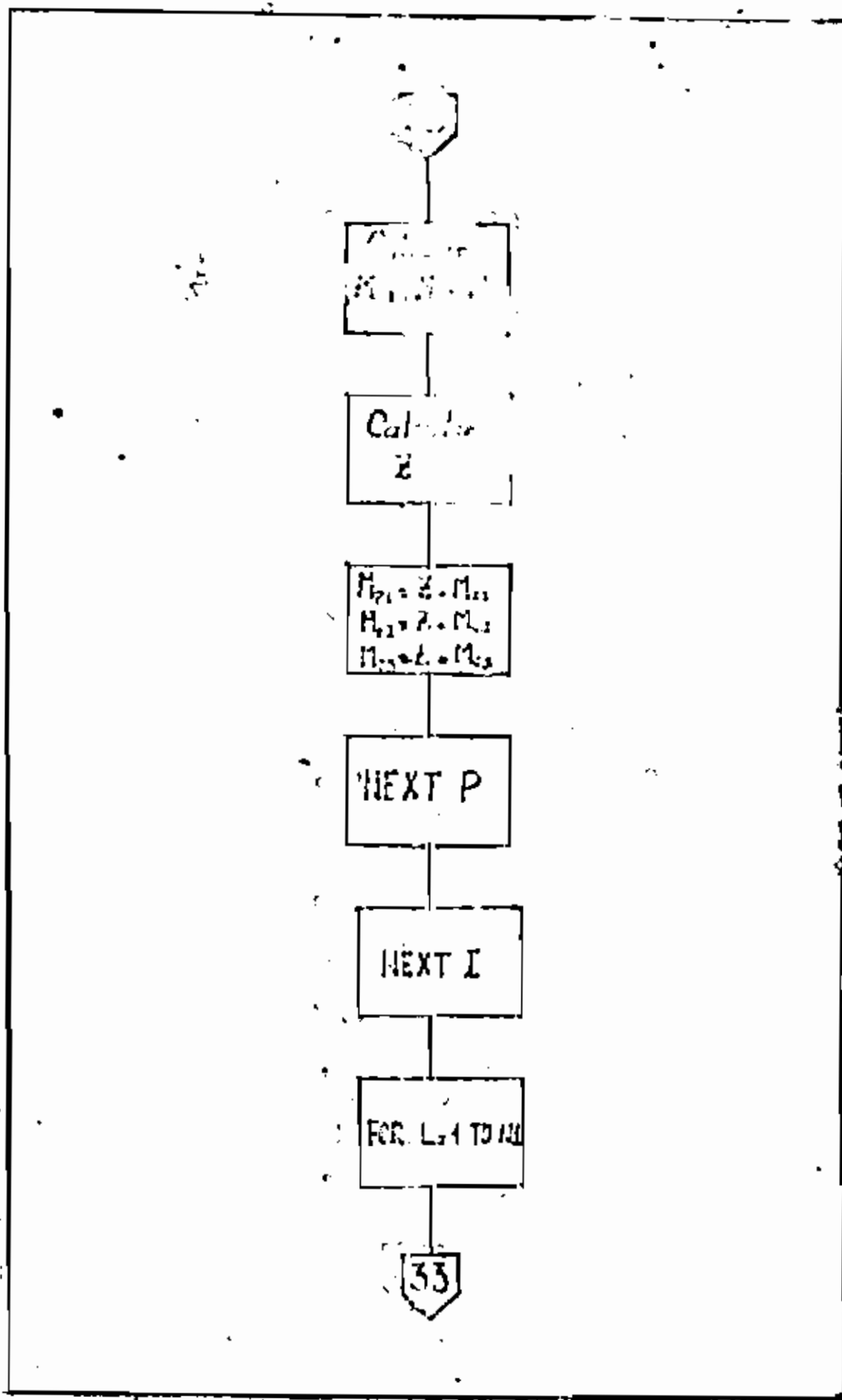


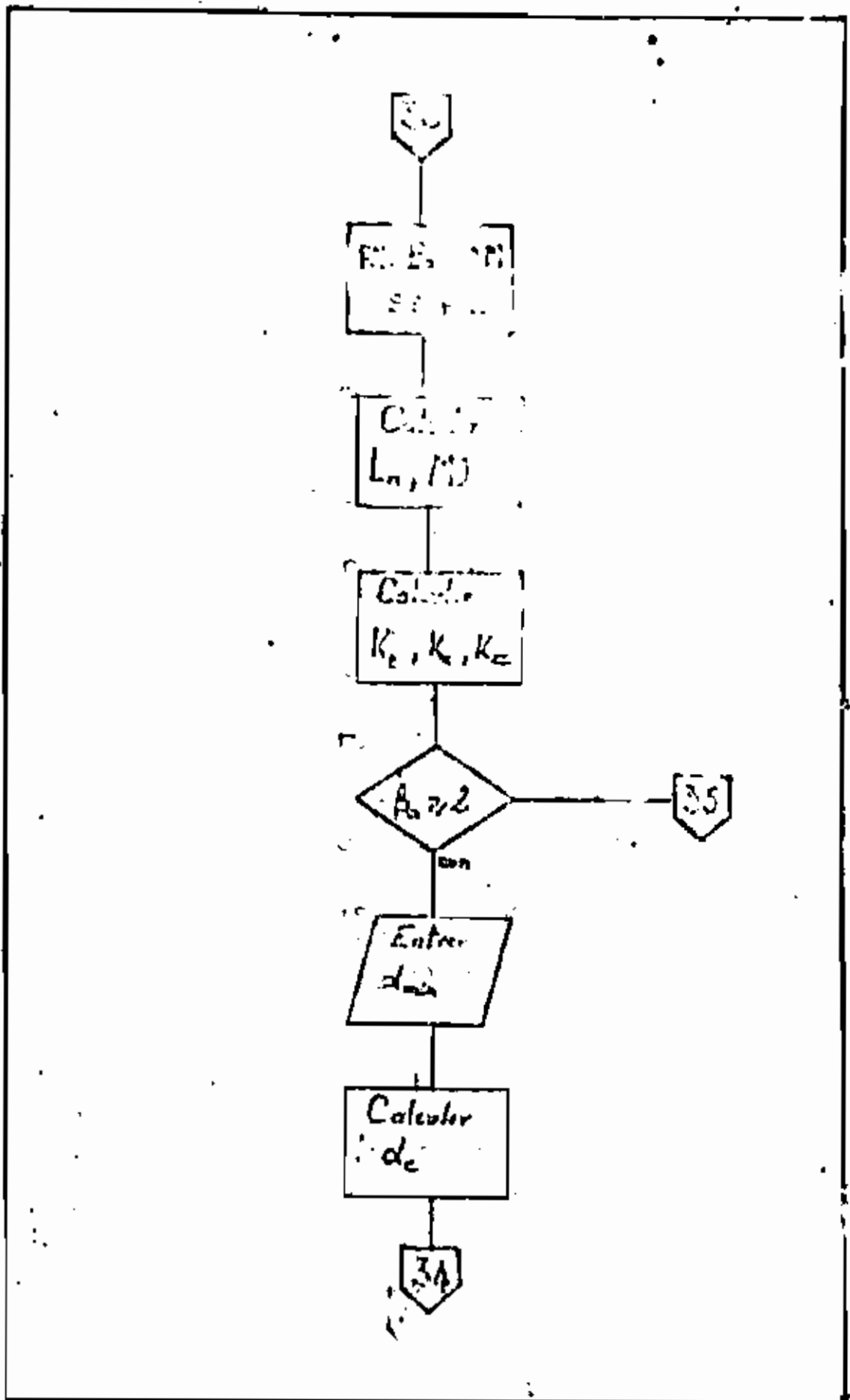


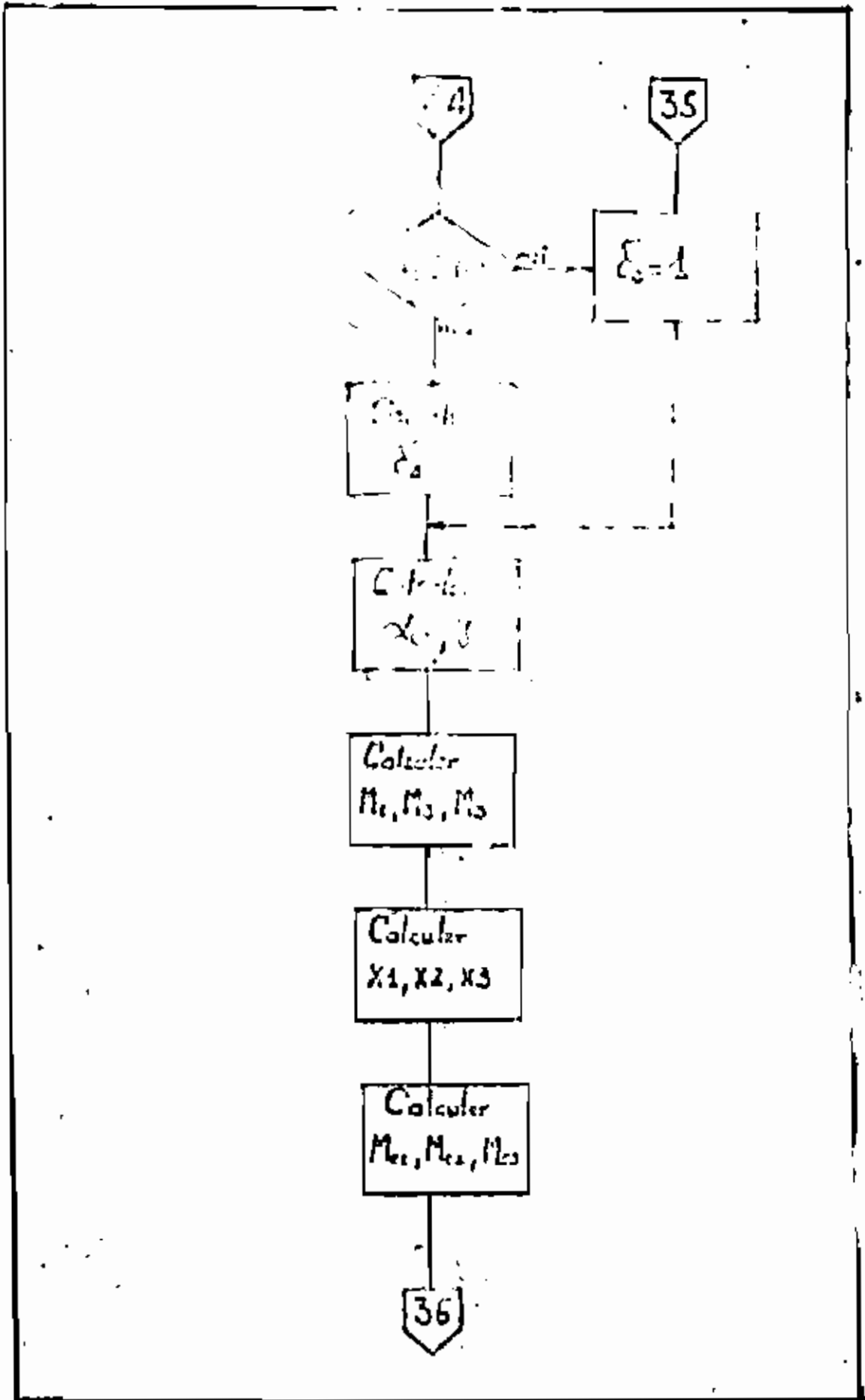


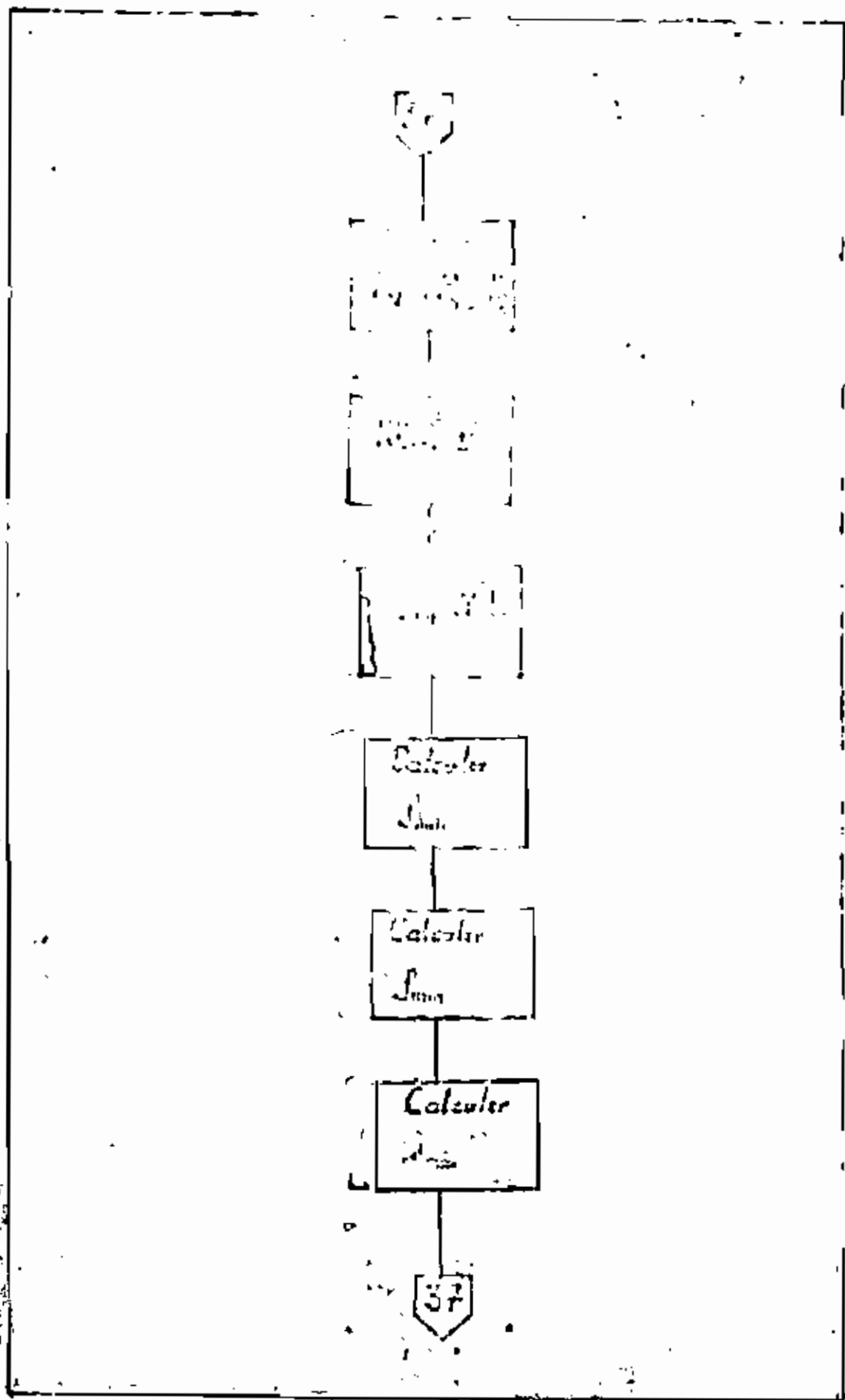


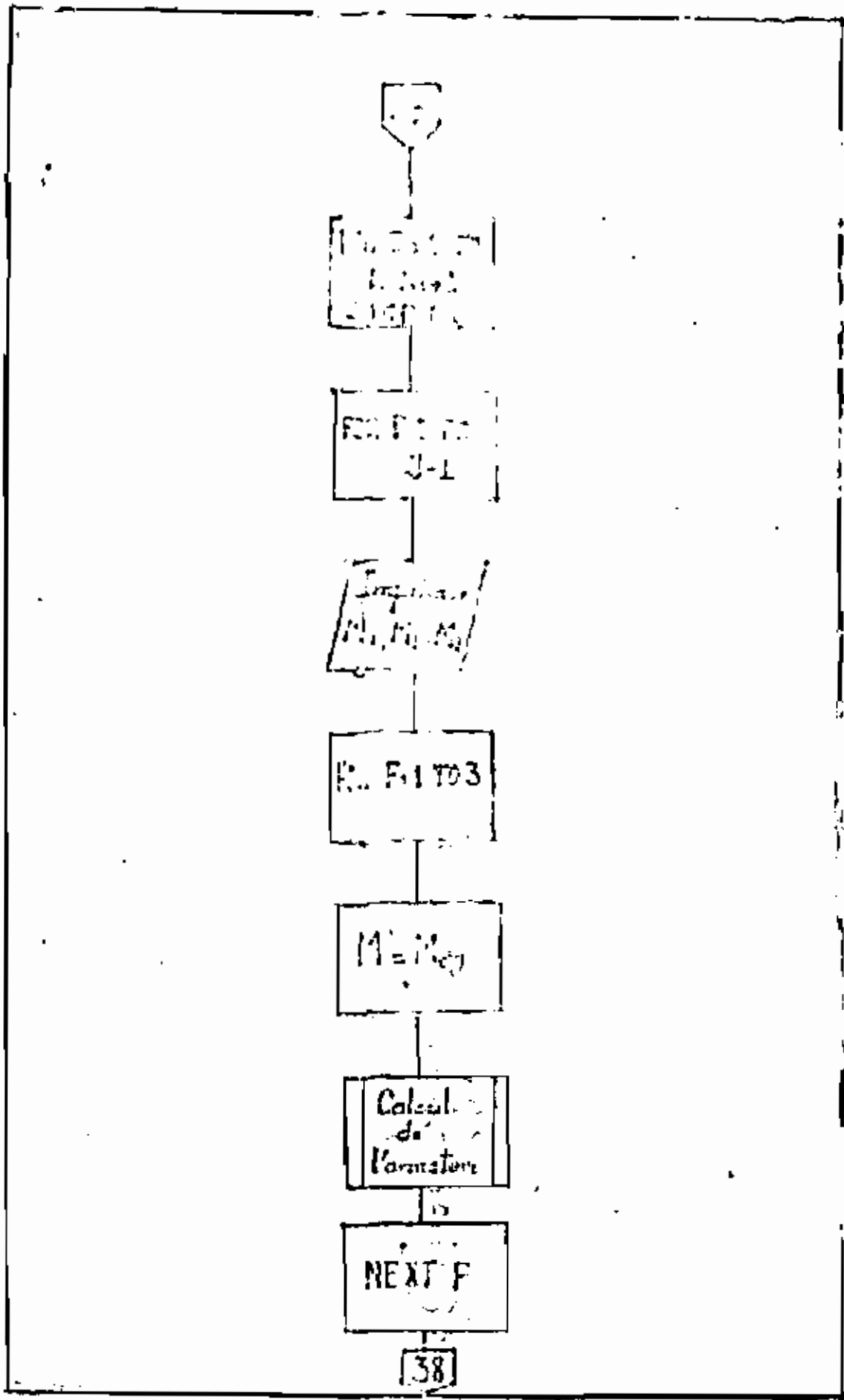


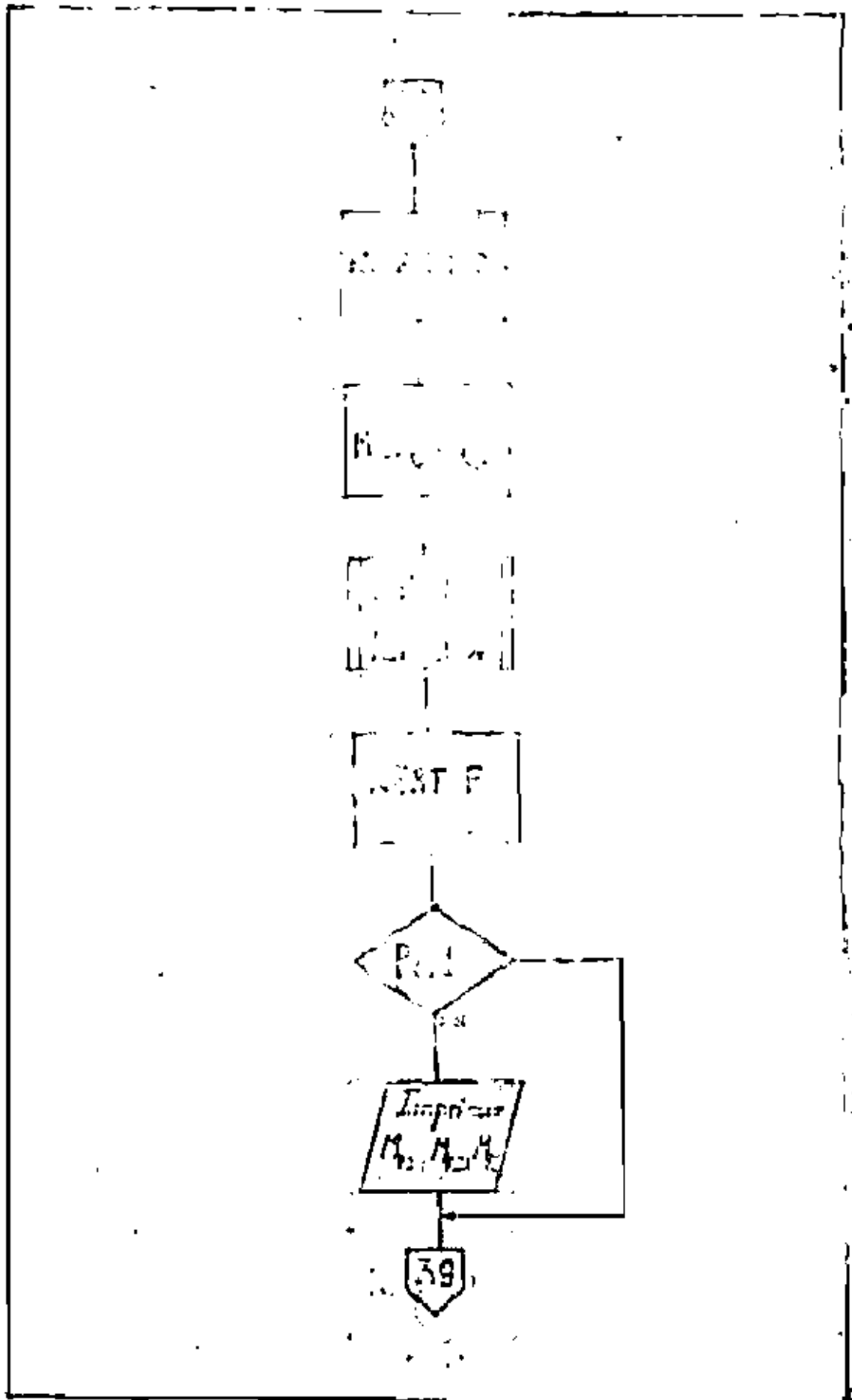


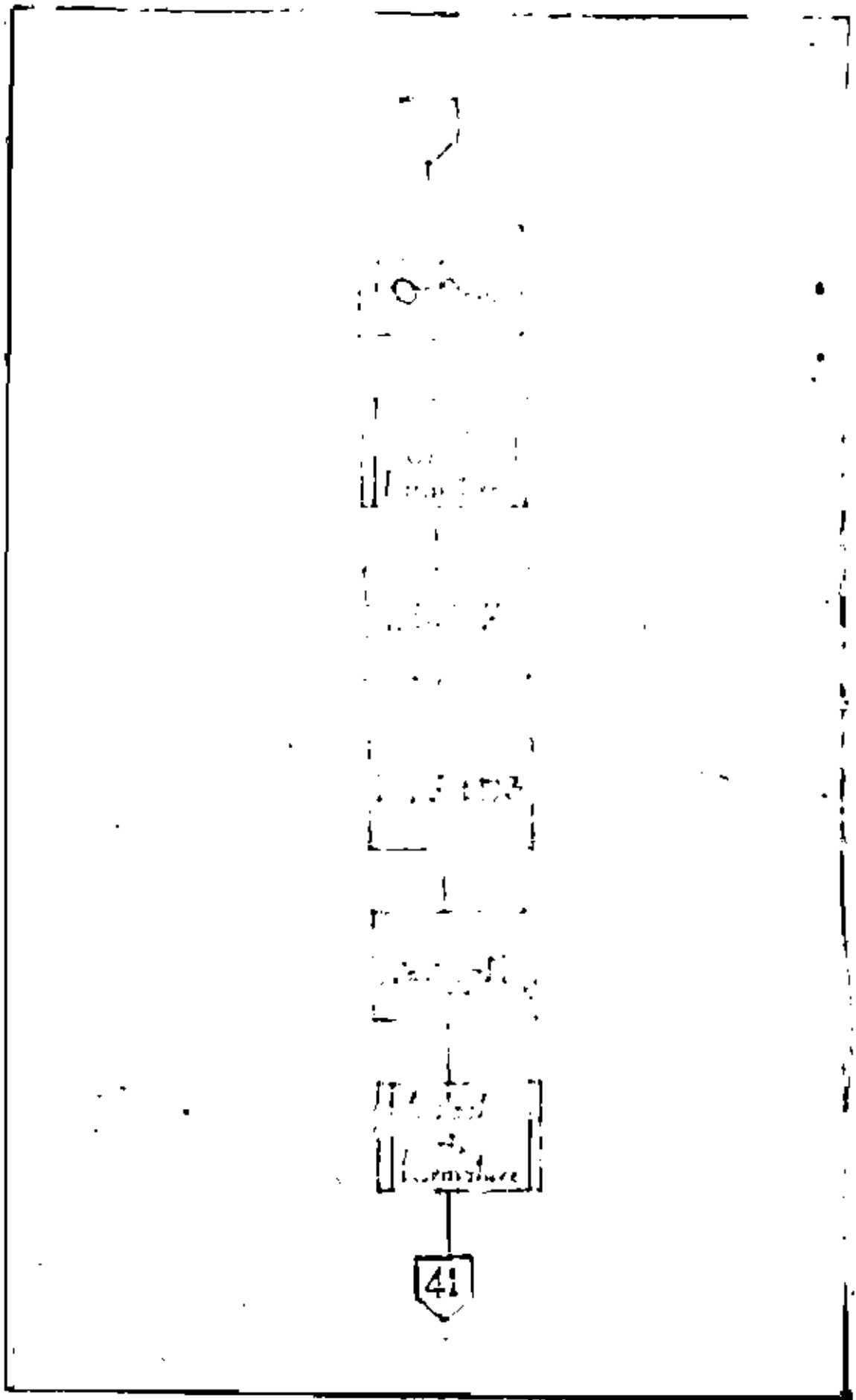


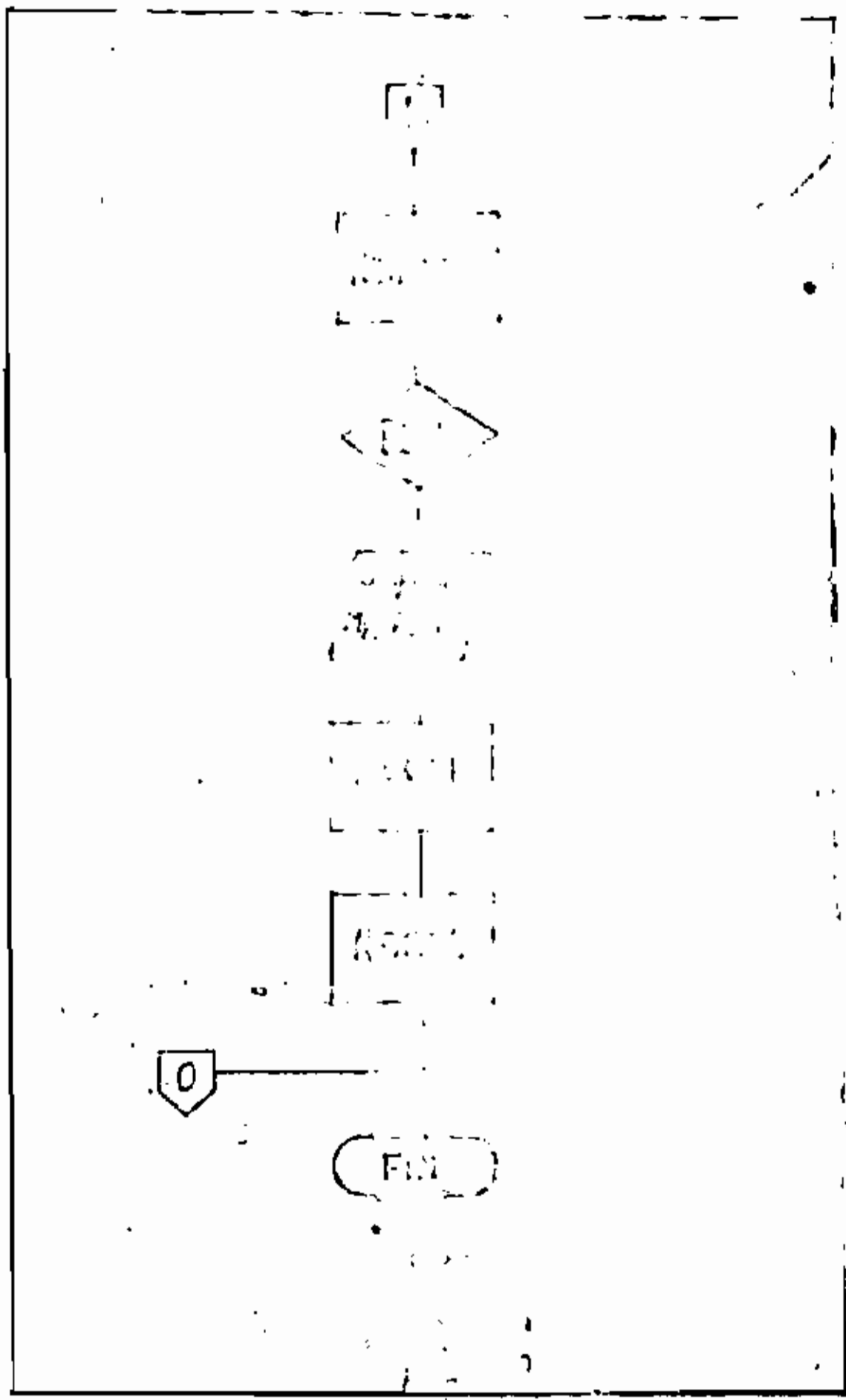












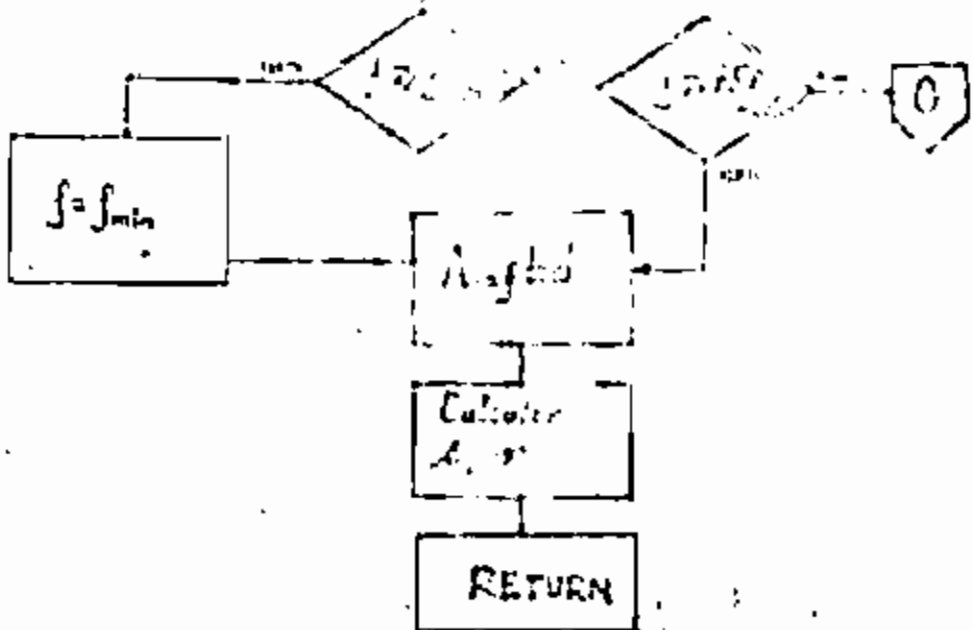
Quasigradient method for finding local minima

Step 1
Choose initial point x_0

Step 2
Estimate direction d_k

Step 3
Compute $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$

Step 4
Compute f_{k+1}



CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

du terrain de ce travail. Elles sont et doivent être les principales limites que nous nous sommes imposées :

- limites temporelles et matérielles
- limites structurelles de la connaissance de nos travaux mal connus et de nos connaissances limitées.

Toutes ces limites ont influé sur l'orientation de notre travail tout du point de vue de la programmation et de la finalité.

Nos recommandations concernent le travail qui reste à faire et qui a trait aux vérifications :

- Vérification du cisaillement de la dalle (séparément et par cisaillement de poutres)
- Vérification des poutres en flexion et en cisaillement
- Vérification des poutres en torsion
- Vérification de la répartition des aciers dans les bandes sur appuis.

Ces calculs de vérification doivent être programmés pour que la programmation de l'étude des dalles bidirectionnelles soit complète après calcul des longueurs d'aciers.

Pour les plaques renforcées (dalles avec nervures) la restriction apportée par la répartition des dimensions des

des axes de la colonne pourrait être levée facilement avec une autre façon d'entrer les dimensions des ressauts.

Une rubrique pourrait être ajoutée au calcul des dalles; il s'agit du dimensionnement des colonnes, connaissant les moments qui les sollicitent.