3- Program Evaluation and review technique (PERT)

أسلوب تقييم ومراجعة البرنامج (المشروع)

يعتبر هذا الأسلوب في تخطيط المشروع من الأساليب الملائمة للمشروعات الجديدة التي لايوجد فيها خبرة سابقة حيث يصعب فيها إيجاد تقديرات دقيقة للوقت اللازم لإنهاء كل نشاط ويعتمد هذا الأسلوب أيضا على تقدير ثلاثة قيم لوقت كل نشاط و على احتمالات تنفيذ المشروع في مدد زمنية معينة وهو الأمر الذي تفتقده طريقة المسار الحرج (CPM) و من هنا أصبح في الإمكان مقدماً التنبؤ باحتمال إن ينتهي المشروع في وقت محدد واحتمال مقابلة المشروع للأوقات المحددة سلفاً في العقد و هو الأمر الذي يضع الإدارة من البداية في موقف يمكنها من الحكم على المشروع وبالتالي قبوله أو رفضه يستخدم هذا الأسلوب نفس القواعد الأساسية لشبكات الإعمال (networks) إي إن الشبكة هي الوسيلة التي تصور خطوات العمل في المشروع تماماً مثل طريقة المسار الحرج (CPM) مع وجود الفروقات الخاصة بالتوقيتات الزمنية والاحتمالات و حيث إن أسلوب (PERT) يركز على الإحداث (Events) وليس على الأنشطة مثل طريقة المسار الحرج ولذلك يقال إن أسلوب بيرت(Event oriented) إما طريقة المسار الحرج (Activity oriented) .

تقدير الوقت :

عند تقدير الوقت اللازم لأي نشط فان أسلوب (PERT) يتطلب تقدير ثلاثة قيم لانجاز كل نشط

1- الوقت المتشائم (tp) (Pessimistic time)
وهو أطول وقت في الأوقات الثلاثة المقدرة و يكون تقديره على أساس الأخذ في الحسابات أسوء ظروف العمل .
2- الوقت المتفائل (to) (Optimistic time)
وهو الأقصر وقت في الأوقات الثلاثة المقدرة ويكون تقديره على إن ظروف العمل جيدة جداً ومناسبة ولن يحدث تأخير غير متوقع في إنهاء العمل .

3- الوقت الأكثر احتمالاً (Most likely time) (tm)

وهو يمثل القيمة الوسطى بين الأوقات الثلاثة و الوقت الأكثر احتمالاً لتنفيذ النشاط في الظروف الاعتيادية .

*خطوات تطبيق أسلوب (PERT) * Method of production(PERT)

1- Determine mean time (te) for each activity

توجد متوسط الوقت لانجاز كل نشاط

$$te = \frac{to+4tm+tp}{6}$$

2- Draw the network by use of (te) for each activity and then Determine the critical activities and critical path .

نرسم المخطط الشبكي ونوجد الفعاليات الحرجة و المسار الحرج بطريقة المسار الحرج (CPM)

3- Determine the standard deviation(S) for the critical activities

نوجد الانحراف المعياري لكل فعالية حرجة

$$S = \frac{tp-to}{6}$$

4- Determine the standard deviation($S_{C.P}$) for the critical path

نوجد الانحراف المعياري للمسار الحرج و الذي يساوي بالجذر التربيعي لمجموع مربعات الانحراف المعياري لكل فعالية حرجة فقط .

$$S_{c.p} = \sqrt{\sum_{ij}(s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_{ij}^2)}$$

5- Determine the probability to finish the project in expected time

توجد نسبة احتمالية انجاز المشروع في وقت معين باستخدام القانون التالي وجداول التوزيع (Z)

$$Z = \frac{Ts - Te}{S_{c.p}}$$

مجموع أزمان تنفيذ الفعاليات = الزمن اللازم لانجاز المشروع $Te = \sum Te_{C.A} =$

باللمسار الحرج

Ts= المدة الزمنية المقترحة لانجاز المشروع و المراد إيجاد الاحتمالية للانجاز بها

$S_{c.p} = standard\ deviation\ ff or\ the$ criticalpath

بعد حساب Z نستخدم القيم أعلاه لإيجاد قيمة Z وباستخدام جداول توزيع Z نوجد الاحتمالية (P%) المقابلة لها

إما إذا كان المعطى في السؤال الاحتمالية (P%) فنستخدم نفس الجداول بإدخال قيمة (P%) ومن ثم نوجد قيمة Z المقابلة لها وثم نطبق القانون لإيجاد (Ts) .

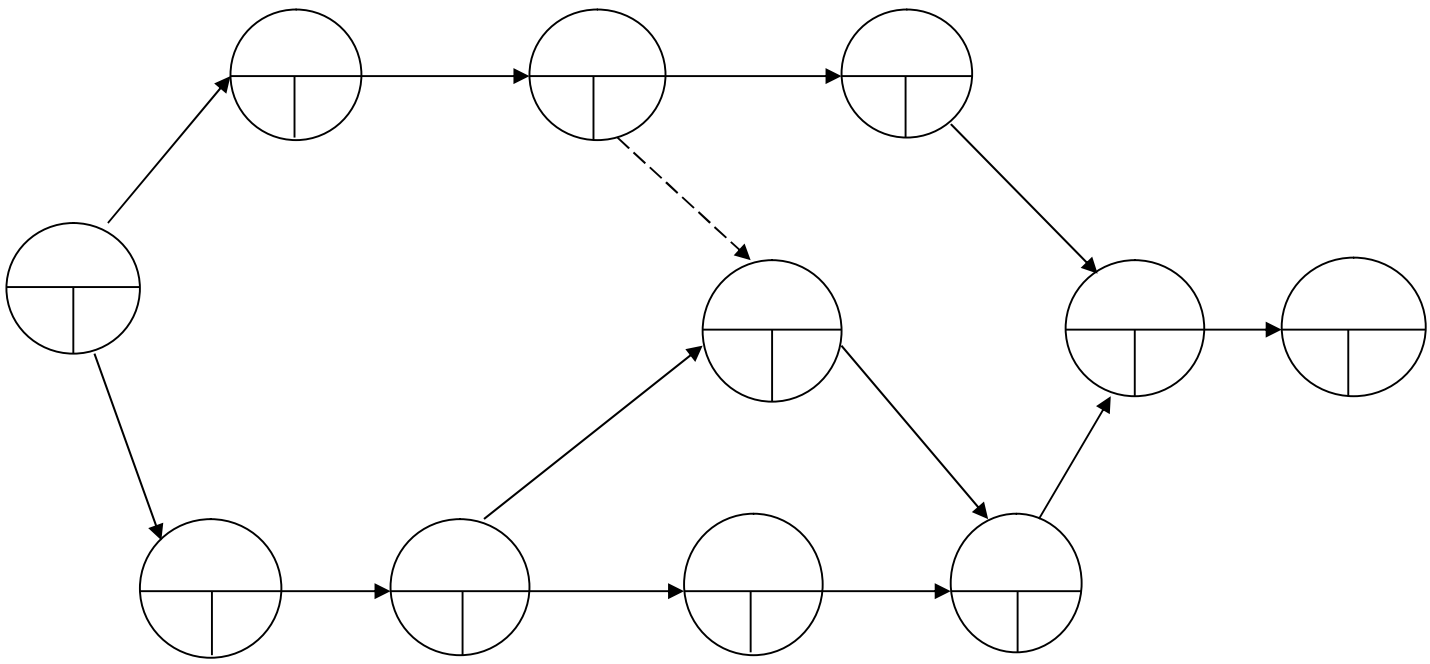
EX: Because of the uncertain nature of the programme for construction of specific project it is decided to draw and analyse the arrow network for the following activities by using three estimates of duration for each activity what is the probability that the programme will be completed in33weeks?

Activity	Duration (week)			Depend on
	to	tm	tp	
A	6	9	12	-
B	6	8	10	A
C	2	5	8	-
D	4	7	10	C
E	4	6	8	D
F	5	9	13	D
G	2	3	4	F
H	1	2	3	B,E
I	2	3	4	G,H
J	2	4	6	B
K	3	4	5	J
L	2	3	4	K,I

Solution:

Activity	to	tm	tp	te	s	ES	EF	LS	LF	TF	CP
A	6	9	12	9	1	0	9	2	11	2	
B	6	8	10	8	2/3	9	17	11	19	2	
C	2	5	8	5	1	0	5	0	5	0	*
D	4	7	10	7	1	5	12	5	12	0	*
E	4	6	8	6	2/3	12	18	16	22	4	
F	5	9	13	9	4/3	12	21	12	21	0	*
G	2	3	4	3	1/3	21	24	21	24	0	*
H	1	2	3	2	1/3	18	20	22	24	4	
I	2	3	4	3	1/3	24	27	24	27	0	*
J	2	4	6	4	2/3	17	21	19	23	2	
K	3	4	5	4	1/3	21	25	23	27	2	
L	2	3	4	3	1/3	27	30	27	30	0	*

$$S = \frac{tp - to}{6}$$



The critical path C – D – F – G – I – L =30 week

$$S_{c.p} = \sqrt{1^2 + 1^2 + (\frac{4}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2} =$$

$$\sqrt{2 + \frac{16}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9}} = 2.03$$

$$Z = \frac{Ts-Te}{S_{cp}} = \frac{33-30}{2.03} \cong 1.48$$ to the right of the mean

And from the tables of Z for(Z=1.48)the standard area equal= 0.5+ 0.4306$\cong$ 0.93 of the total

So the probability of completing the work in 33 weeks i therefore 93% (high probability)

Ex : Because of the use uncertain nature of the programme for construction of small specific project it is decided to draw and analyse the arrow network for the following activities by using three estimates of duration for each activity .what is the probability that the programme will be completed in

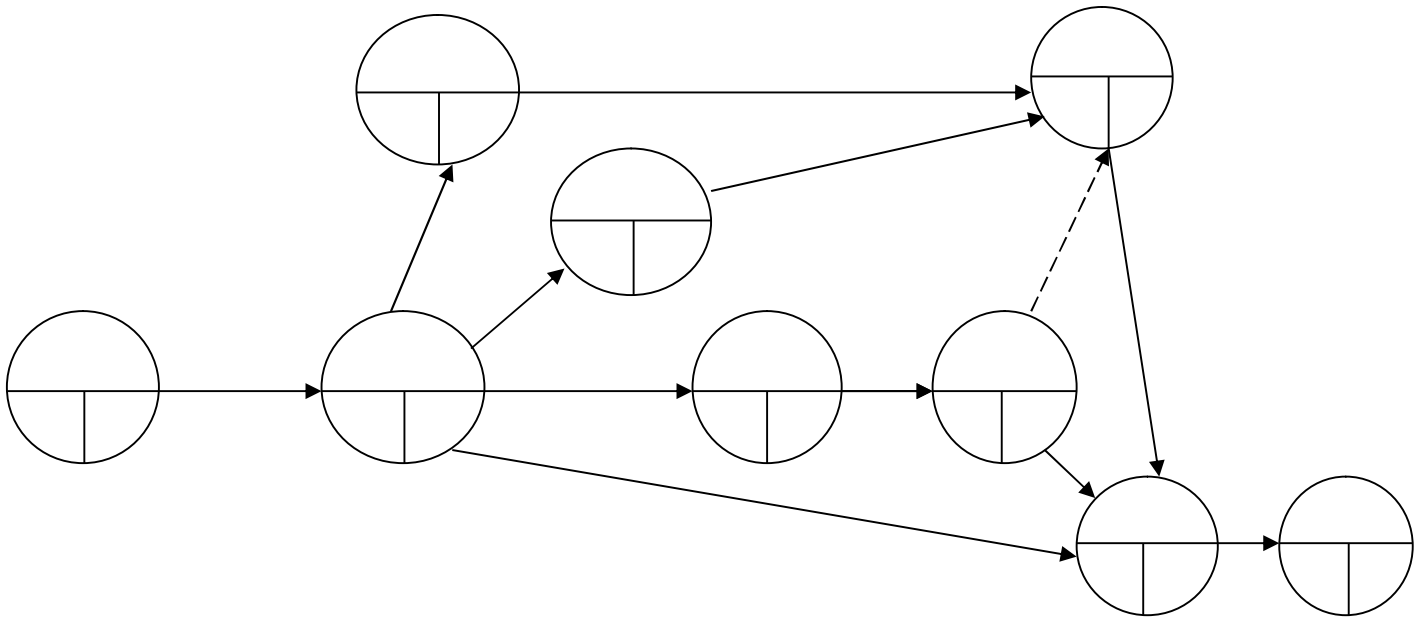
1-44weeks

2-55weeks

Activity	Duration (week)			Followed by
	te	tm	tp	
A	3	4	5	B,C,D,E
B	4	7	10	F
C	3	6	9	G
D	7	8	21	H
E	10	14	24	K
F	3	7	11	J
G	2	5	8	J
H	0.5	7	7.5	I,J
I	15	20	25	K
J	6	8	25	K
K	2	7	12	-

Solution :

Activity	to	tm	tp	te	s	ES	EF	LS	LF	TF	CP
A	3	4	5	4	1/3	0	4	0	4	0	*
B	4	7	10	7	1	4	11	16	23	12	
C	3	6	9	6	1	4	10	19	25	15	
D	6	8	22	10	8/3	4	14	4	14	0	*
E	10	14	24	15	7/3	4	19	25	40	21	
F	3	7	11	7	4/3	11	18	23	30	12	
G	2	5	8	5	1	10	15	25	30	15	
H	0.5	7	7.5	6	7/6	14	20	14	20	0	*
I	15	20	25	20	5/3	20	40	20	40	0	*
J	6	8	22	10	8/3	20	30	30	40	10	
K	2	7	12	7	5/3	40	47	40	47	0	*



Critical path A - D – H – I – K

Project completion time = 47 week= te

$$S_{c.p} = \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + (\frac{8}{3})^2 + (\frac{7}{6})^2 + (\frac{5}{3})^2 + (\frac{5}{5})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{64}{9} + \frac{49}{36} + \frac{25}{9} + \frac{25}{9}} = 3.76$$

1-$Z_1 = \frac{44-47}{3.67} \cong 0.8 \longrightarrow$ Probability=0.5 – 0.29 = %21

Because of 44 total left of mean

2- $Z_2 = \frac{55-47}{3.76} = 2.13 \longrightarrow$

Probability=0.5+0.48=%98 Because of 55 the right of mean

Example: for the following activities find

1-The project construction duration at probability %4

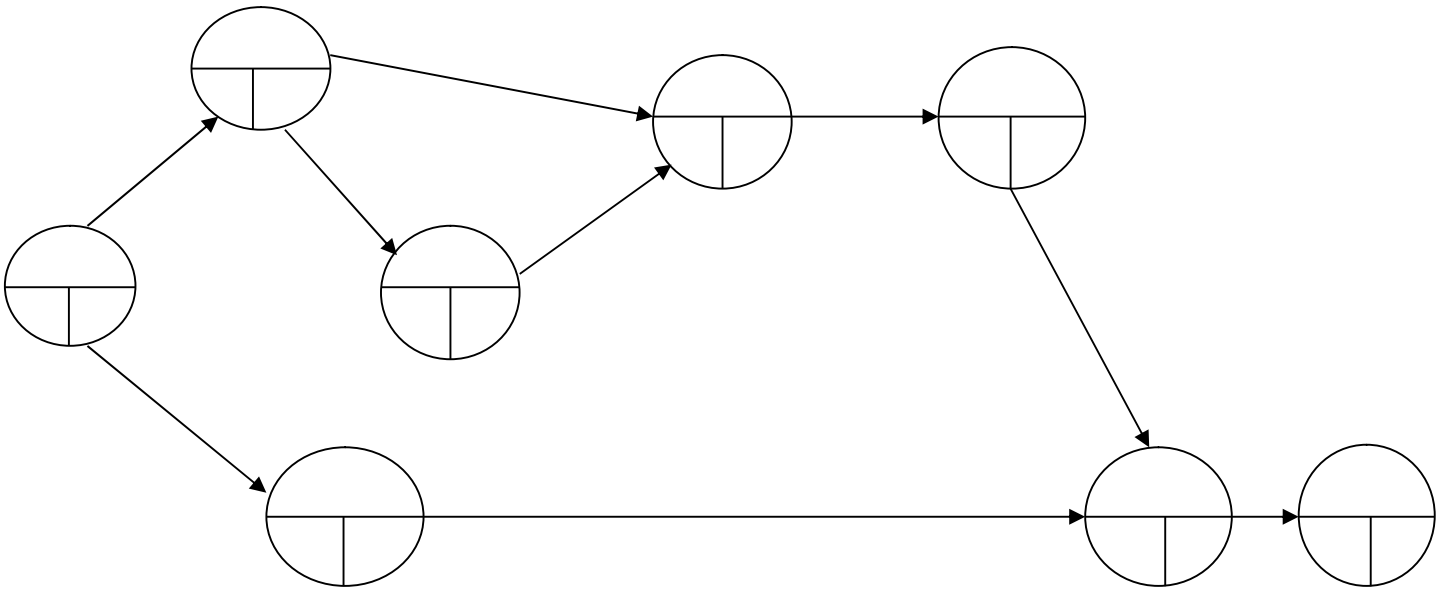
2-The project construction duration at probability %8

Activity	Duration (week)		
	to	tm	tp
1-2	4	5	6
1-3	1	3	5
2-4	2	2	2
2-5	3	4	5
3-7	7	8	15
4-5	1	2	3
5-6	1	1	1
6-7	6	6	12
7-8	1	2	3

Solution:

Activity	Duration week										
	to	tm	tp	te	S	ES	EF	LS	LF	TF	CP
1-2	4	5	6	5	1/3	0	5	0	5	0	*
1-3	1	3	5	3	2/3	0	3	5	8	5	
2-4	2	2	2	2	0	5	7	5	7	0	*
2-5	3	4	5	4	1/3	5	9	5	9	0	*
3-7	7	8	15	9	4/3	3	12	8	17	5	
4-5	1	2	3	2	1/3	7	9	7	9	0	*
5-6	1	1	1	1	0	9	10	9	10	0	*
6-7	6	6	12	7	1	10	17	10	17	0	*
7-8	1	2	3	2	1/3	17	19	17	19	0	*

$$S = \frac{tp - to}{6}$$



Critical path(-2-5-6-7-8)=19weeks}

And Critical path (-2-4-5-6-7-8)=19 weeks}

→Te=19 weeks

$$S_{c.p1} = \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2 + (0)^2 + (0)^2 + (\frac{1}{3})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{1}{9} + 0 + \frac{1}{9} + \frac{1}{9}} = 1.15$$

$$S_{c.p2} = \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + (0)^2 + (\frac{1}{3})^2 + (0)^2 + (1)^2 + (\frac{1}{3})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} + 0 + \frac{1}{9} + 0 + 1 + \frac{1}{9}} = 1.15$$

1- For probability%4 ⟶ 0.5 - 0.04 =0.46 ⟶ from table Z=1.74

$$Z = \frac{Ts - Te}{S_{c.p}} \qquad -1.74 = \frac{TS - 19}{1.15} \rightarrow Ts = 19 - 2 = 17 weeks$$

2- For probability %81 ⟶ 0.5+0.31 ⟶ from table Z=0.88

$$0.88 = \frac{Ts - 19}{1.15} \rightarrow Ts - 19 = 1.01 \cong 1 \rightarrow Ts = 20 weeks$$

H.W. for the following activities find

1- the project construction duration at probability %

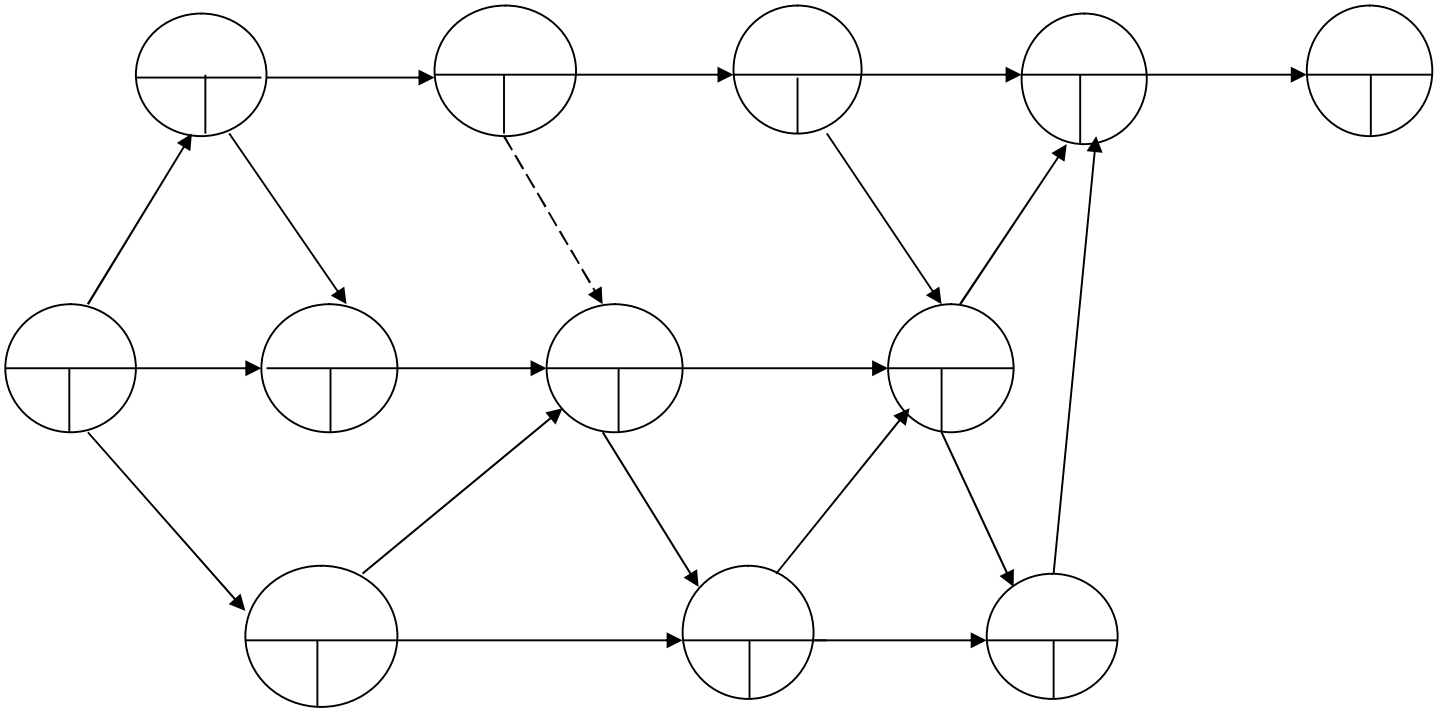
2-the probability of project construction 93 week

3-the project construction duration at probability %

4-the probability of project construction 105 wel

Activity	Duration (week)			Followed by
	to	tm	tp	
A	16	19	28	D,E
B	5	7	9	F
C	7	8	9	G,K
D	10	13	22	H,I,J
E	6	8	16	F
F	9	14	19	I,J
G	5	6	6	I,J
H	12	14	22	L,M
I	6	15	24	Q,R
J	6	8	16	N,P
K	2	3	4	N,P
L	7	13	25	T
M	6	7	8	Q,R
N	16	18	20	Q,R
P	5	6	7	S
Q	6	7	14	T
R	5	6	7	S
s	7	8	9	T
t	10	16	28	-

Solution:



Activity	Duration(week)										
	to	tm	tp	te	s	ES	EF	LS	LF	TF	CP
A	16	19	28	20	2	0	20	0	20	0	*
B	5	7	9	7	2/3	0	7				
C	7	8	9	8	1/3	0	8				
D	10	13	22	14	2	20	34				
E	6	8	16	9	5/3	20	29	20	29	0	*
F	9	14	19	14	5/3	29	43	29	43	0	*
G	5	6	7	6	1/3	8	14				
H	12	14	22	15	5/3	34	49				
I	6	15	24	15	3	43	58				
J	6	8	16	9	5/3	43	52	43	52	0	*
K	2	3	4	3	1/3	8	11				
L	7	13	25	14	3	49	63				
M	6	7	8	7	1/3	49	56				
N	16	18	20	18	2/3	52	70	52	70	0	*
P	5	6	7	6	1/3	52	58				
Q	6	7	14	8	4/3	70	78				
R	5	6	7	6	1/3	70	76	70	76	0	*
S	7	8	9	8	1/3	76	84	76	84	0	*
T	10	16	28	17	3	84	101	84	101	0	*

$$S = \frac{tp - to}{6}$$

Critical path=A-E-F-J-N-R-S-T

=20+9+14+9+18+6+8+17⟶101 Weeks

Te=project completion time=101 Wee

$$S_{c.p} = \sqrt{(2)^2 + (\frac{5}{3})^2 + (\frac{5}{3})^2 + (\frac{5}{3})^2 + (\frac{2}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2 + (\frac{1}{3})^2 + (3)^2}$$

1- $Z = \frac{Ts-Te}{S_{cp}}$

%p=%40⟶0.5 – 0.4=0.1⟶from table of Z⟶ for P=0.1

→Z=0.25

$$-0.25 = \frac{Ts-101}{4.69} \rightarrow Ts = 99.83\, Week \cong 100\, Week$$

2-93 week to the left of the mean 101 week

$$Z = \frac{Ts - Te}{S_{c.p}} = \frac{93 - 101}{4.69} = -1.706$$

From table of Z⟶ %P=0.5 – 0.46=%4

3- Probability %50

%P=0.5 – 0.5=0.0 from table of Z⟶ Z=0

$$Z = \frac{Ts-Te}{S_{C.P}} \rightarrow 0 = \frac{Ts-Te}{4.69}$$

So 0=Ts-Te

So Ts=Te=101 Week

4- $Z = \frac{105-101}{4.69} = 0.85 \rightarrow from\ \ table\ of\ Z \rightarrow \%p$

$$= 0.5 + 0.3023 \approx 0.8 = \%80$$

4- Line of balance

يعتبر هذا الأسلوب أهم أساليب التخطيط أو البرمجة الزمنية للمشاريع الإنشائية أو الهندسية وتستخدم عادة في المشاريع المكونة من تنفيذ عدد من الوحدات المتشابهة المتكررة كان يكون المشروع مختص بإنشاء مثلاً 100 وحدة سكنية او عشرة مستشفيات متساوية السعة وهكذا

خطوات يجب إتباعها عند إعداد برنامج الخط التوازن Steps of follow

1- List the main activities
2- Assess the time needed for completion of each activity
3- Assess the labour or gung size needed for each activity
4- Identify the plant to be used for activity
5- Decide on buffer times between activities
6- Calculate total time for one unit
7- Decide on rate of handover of subsequent units

1- إعداد قائمة بالفعاليات الرئيسية
2- تحديد التوقيتات الزمنية اللازمة لانجاز كل فعالية
3- تحديد حجم مجموعات العمل المطلوبة لانجاز كل فعالية
4- تحديد الآليات و الأجهزة المطلوبة لتنفيذ كل فعالية
5- تحديد الفواصل الزمنية اللازمة بين كل فعالية
6- حساب الوقت الكلي اللازم لإكمال الوحدة الإنشائية الواحدة
7- اتخاذ قرار حول عدد الوحدات الإنشائية المطلوب تسليمها كل فترة زمنية محددة وبالتتابع

* المميزات
- Advantages

1- من السهل توضيح معدل نسبة انجاز العمل لكل فريق عمل في هذه الطريقة
2- من السهل فهم المعلومات المثبته على كل رسم
3- تعطى صورة واضحة وجيدة لمراحل تنفيذ الفعاليات المتكون منها المشروع

4- من السهل توضيح وتحديد تأثير زمن التأخير على فعاليات المشروع ومدة تنفيذ المشروع
5- ممكن توزيع وموازنة موارد المشروع التي هي بالتحديد الأيدي العاملة و المواد الإنشائية إضافة إلى المعدات والأدوات
6- في هذه الطريقة من الممكن تثبيت مراحل تقدم العمل على المخطط وبالتالي يمكن وبسهولة السيطرة على مراحل التنفيذ في الموقع
7- كميات المواد الإنشائية والآليات والمعدات المستخدمة لتنفيذ فعاليات المشروع من السهل تحديدها من المخطط إضافة إلى تحديد مواعيد التجهيز لتلك الموارد
8- من السهل توضيح معدل الانجاز لكل فعالية وتوضيح الاختلاف في معدلات الانجاز للفعاليات المتكون منها المشروع
9- أيضاً من الممكن توضيح تأثير الإسراع بتنفيذ إحدى فعاليات المشروع على الفعاليات الأخرى

- Disadvantages *المساوئ

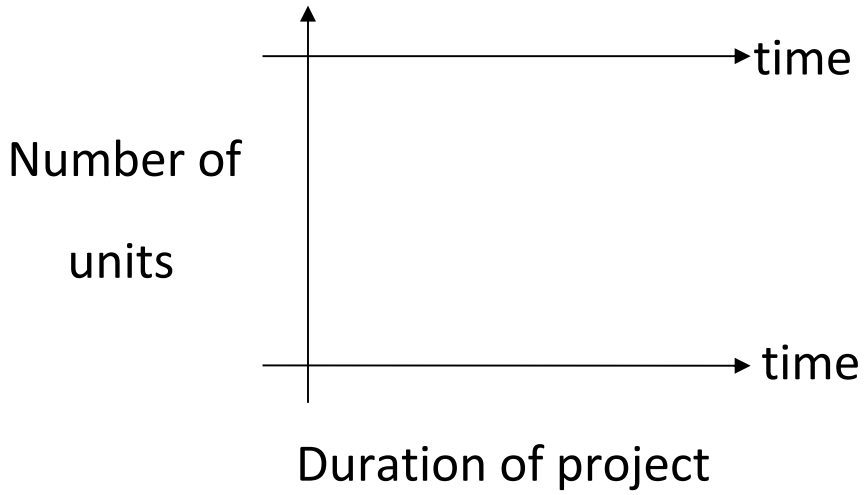
1- هذه الطريقة مناسبة فقط للمشاريع المتكونة من مجموعة وحدات ذات طابع واحد من حيث التصميم الإنشائي و مراحل التنفيذ
2- هذه الطريقة تعطي صورة بسيطة عن مراحل التنفيذ مقارنة بالأخرى

- Line of balance production تطبيق أسلوب خط التوازن

يتكون المخطط الخاص بخط التوازن (LOB) من محور أفقي سفلي وعلوي موازي يمثل الزمن (Duration) ويؤشر على المحور السفلي بدايات الفعاليات و الفواصل الزمنية بينها (Buffer) ويؤشر على المحور العلوي نهايات الفعاليات و الفواصل الزمنية بينها (Buffer)

ويبدأ الزمن في كليهما من الصفر و إلى نهاية وقت انجاز المشروع بينما يمثل المحور العمودي عدد وحدات المشروع (Number of units)

يبدأ المحور من الأسفل برقم (1) ويزداد إلى الأعلى إلى حد عدد وحدات المشروع المقررة و الرسم التالي يوضح المحاور المشار إليها



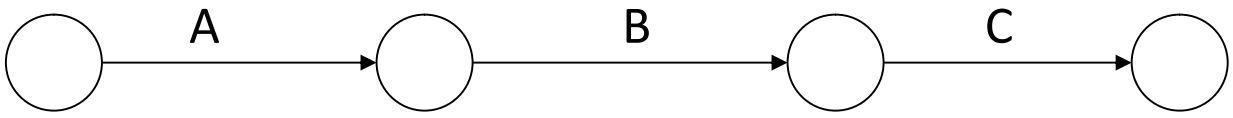
وتمثل الإشكال التالية الأنواع الرئيسية لتوضيح العلاقات الموجودة بين الفعاليات إثناء تنفيذ المشروع

1- يمثل الشكلين رقم (2,1) الفعاليات A,B,C المنفذة على التتابع وبينها فاصلة زمنية (Buffer) تكون اقل فاصلة زمنية ممكنة ومتساوية في أسفل المخطط عند بداية تنفيذ كل فعالية وتختلف في أعلى المخطط بين كل فعاليتين وبالاعتماد على معدل الانجاز خلال تنفيذ كل فعالية حيث إن معدل سرعة تنفيذ الفعالية A و كل من B و C ومعدل سرعة تنفيذ الفعالية B أسرع من Cولذلك أصبحت الفاصلة الزمنية بين نهايات الفعاليات مختلفة .

2- يمثل الشكلين رقم (3,1) الفعاليات A,B,C المنفذة على التتابع وبينها فاصلة زمنية (Buffer) تكون اقل فاصلة زمنية ممكنة ومتساوية في أسفل المخطط وأعلى المخطط كذلك وذلك بسبب تساوي معدل سرعة تنفيذ الفعاليات الثلاثة وبذلك تكون خطوطها متوازية .

3- يمثل الشكلين رقم (5,4) الفعاليات C,B تبدءان معاً وان معدل سرعة تنفيذ كل من الفعاليتين D,A أسرع من كل من الفعاليتين C,B ومعدل سرعة تنفيذ الفعالية B أسرع من الفعالية C

4- يمثل الشكل (6,4) الفعاليات C,B تنتهيان معاً وان معدل سرعة تنفيذ الفعالية C أسرع من الفعالية B وان معدل سرعة كل من الفعاليتان D,A **أسرع من** C,B



Logic diagram for sequence

Figure 1

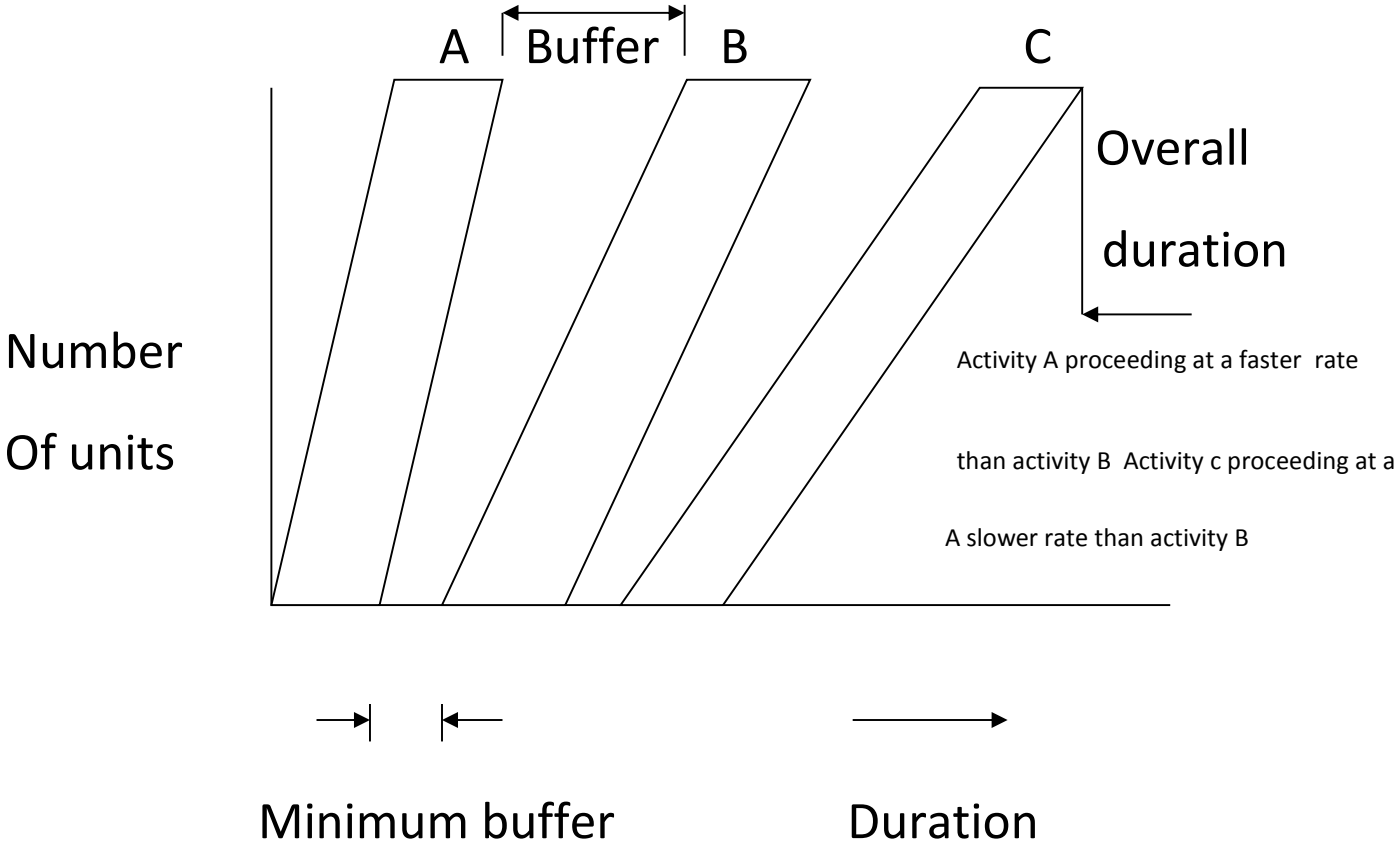


Figure 2

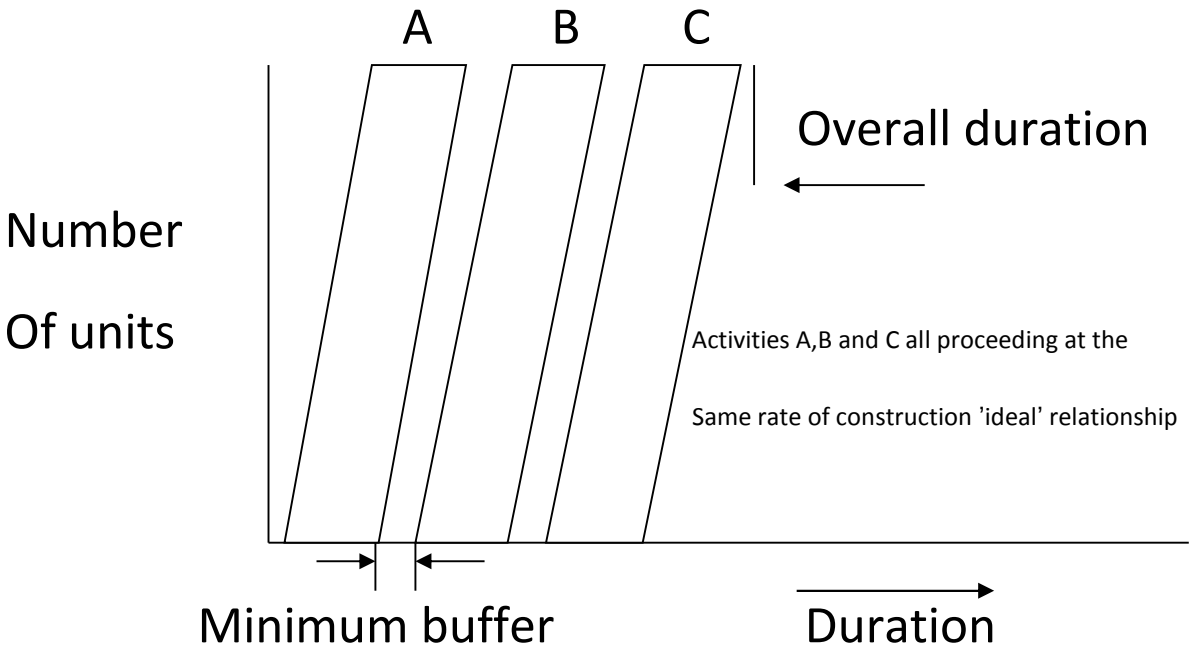


Figure 3

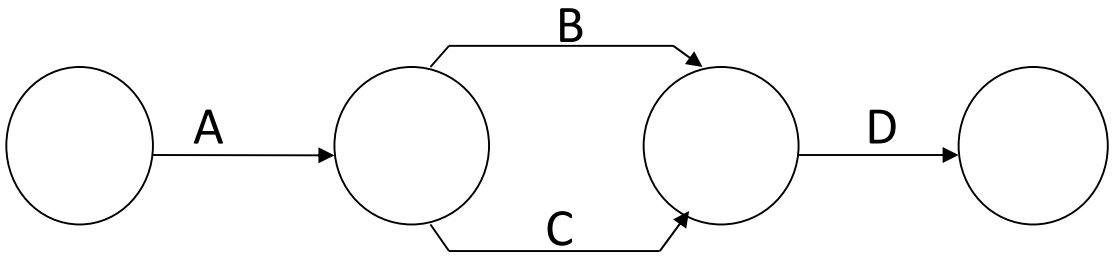


Figure 4

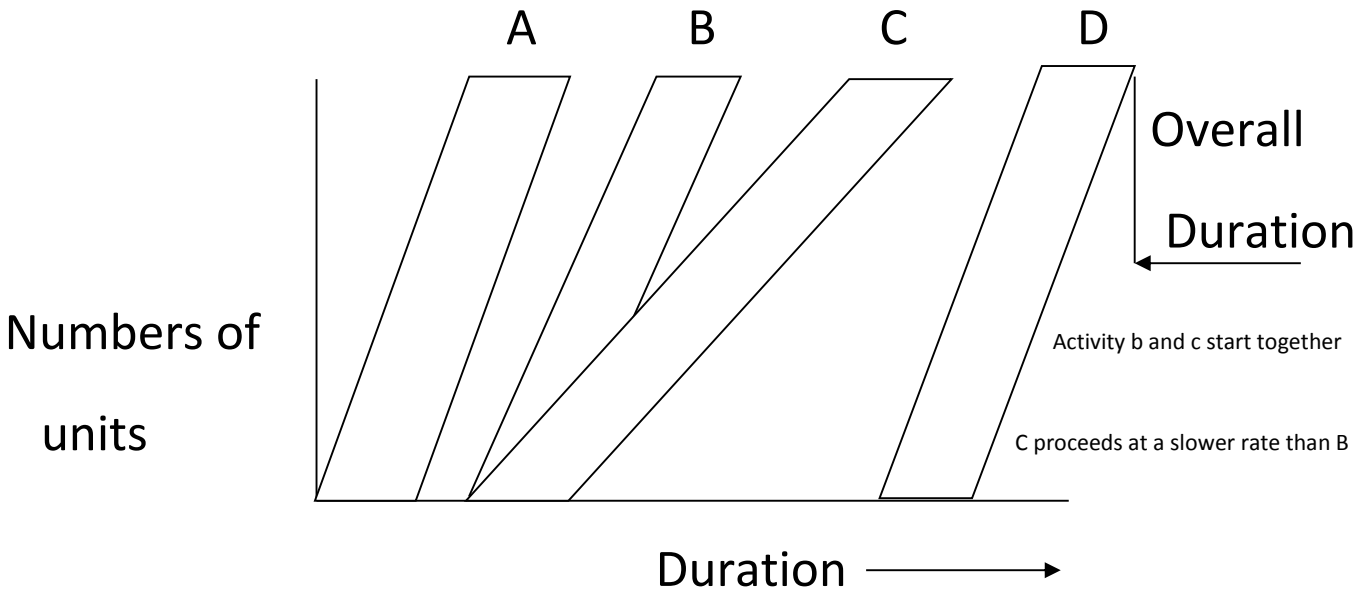


Figure 5

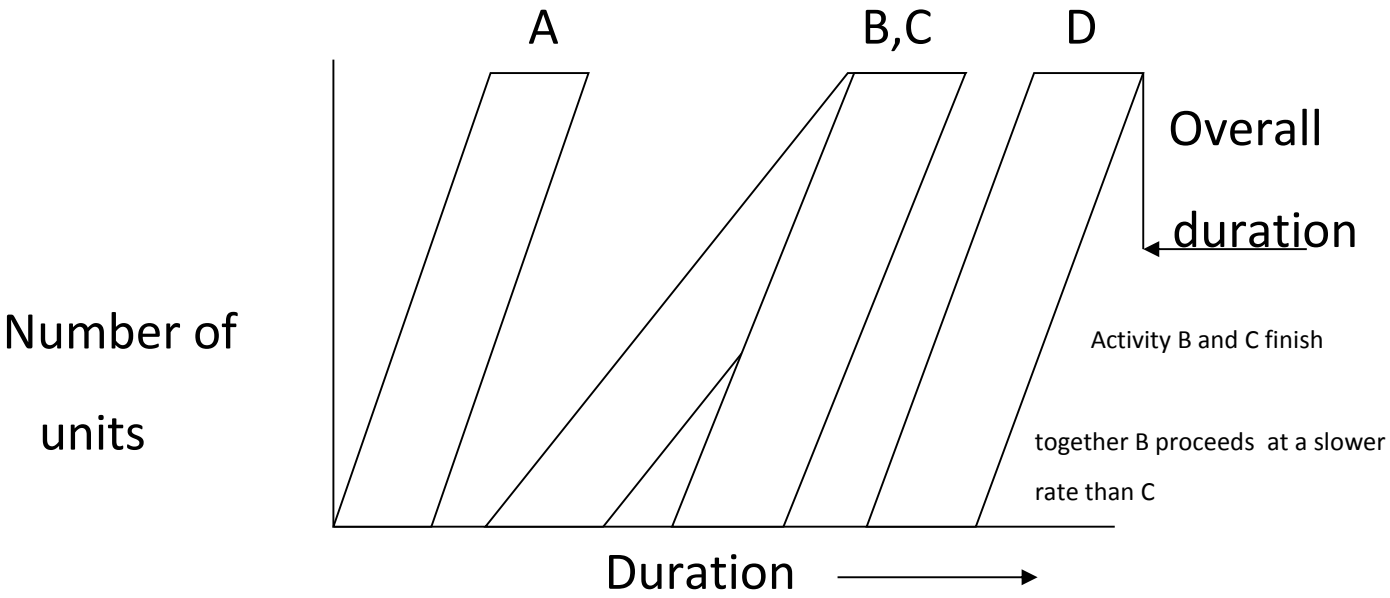


Figure6

M= Man hours per unit

O= optimum number of men per operation

G= theoretical gang size =

$$\frac{M * rate\ of\ production}{(No.\ of\ work\ day\ per\ week) * (No.\ of\ work\ hours\ per\ day)}$$

G= Actual gang size

العدد الاعتيادي للعمال في فريق العمل ويكون رقم قريب من (G) وكذلك هو مضاعفات (Q)

U= Actual rate of production =

$$\frac{g}{G} * rate\ of\ production\ per\ week$$

T=time per operation = $\frac{M}{Q*No\ of\ work\ hrs/day}$ يقرب الناتج إلى عدد صحيح ويفضل العدد الاكبر

$S=\frac{(N-1)*work}{U}\frac{k}{day/week}$

Where N= No of units

Ex 1 : Your company has been awarded a contract to erect 124 pylons for the electricity board the following table shows the sequential operation involved in the construction of each pylon together with the estimated man hours and optimum number of men for each operation .

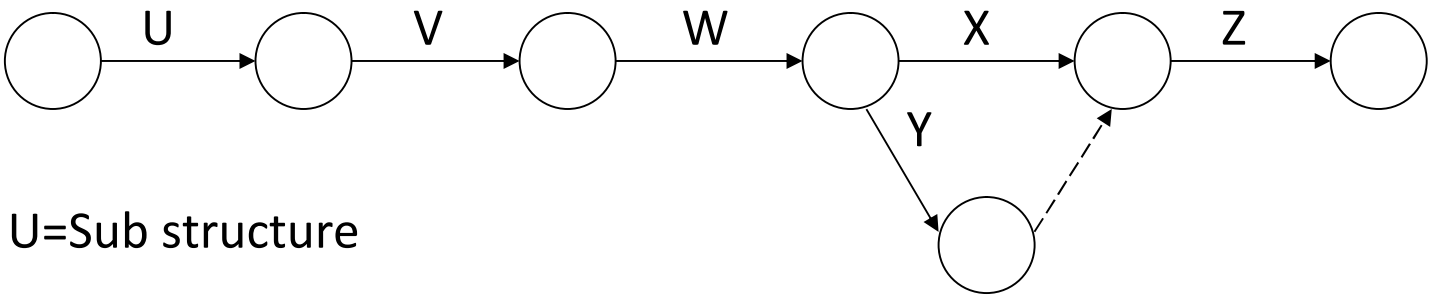
	Operation	Man hours	Optimum no. of men per operation
A	Excavate	55	4
B	Concerte foundation	64	4
C	Erect tower	145	8
D	Fix cantilever	90	8
E	Fix insulators	25	5

The hand over rate specified is six pylons per week and this can be taken as the target rate of build

Prepare a line of balance schedule assuming that each gang works at its natural rate state clearly the contract duration assume a five – day working week eight hours per day . and a minimum buffer time of two days

Ex 2: the construction plan for a house is shown in fig below and the following table gives the man hours required and the team size for each operation prepare a line of balance schedule for a contract of 30 houses using a target rate of build of four houses per week and each team working at their natural rate assume a minimum buffer times of five days between operation and five 8- hour days per week

What is the overall duration of the project and when will the first team of bricklayers (super structure operation) leave the site?



U=Sub structure

V= super structure

W= Internal partitions ,Z= Finishes

X= plumber

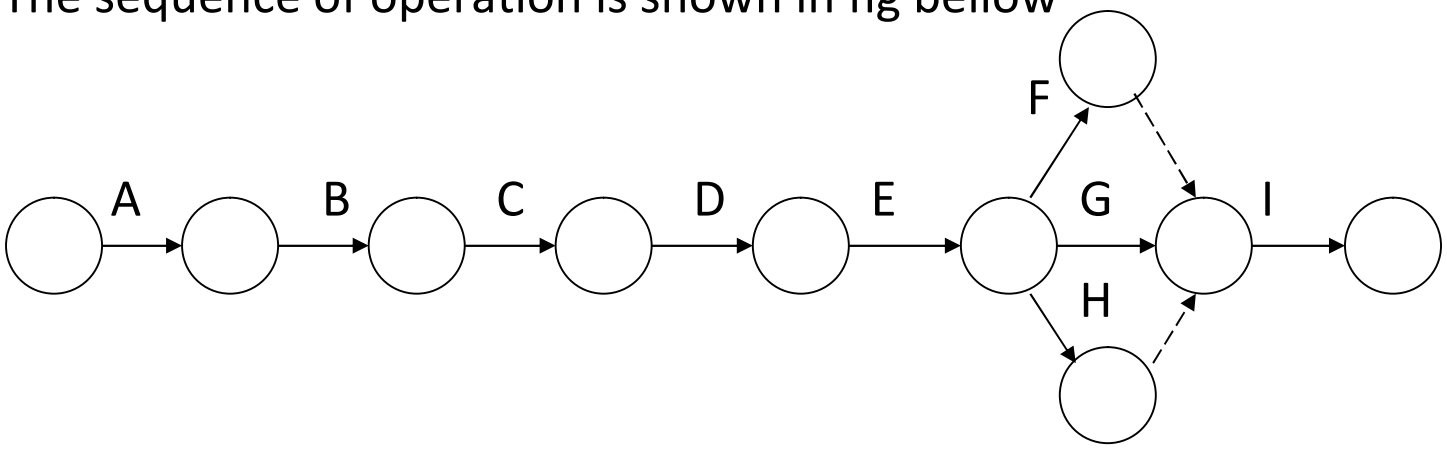
Y= electrician

Operation	U	V	W	X	Y	Z
Man hours per house	120	290	250	40	30	220
Men per team	3	6	4	3	2	5

Ex 3: prepare a line of balance schedule for a contract of 15 houses based on a rate of build of three houses per week assuming five 8-hour days per week a minimum buffer of five days should be assumed the following table shows the operation together with the estimated man hours and optimum number of men for each operation .

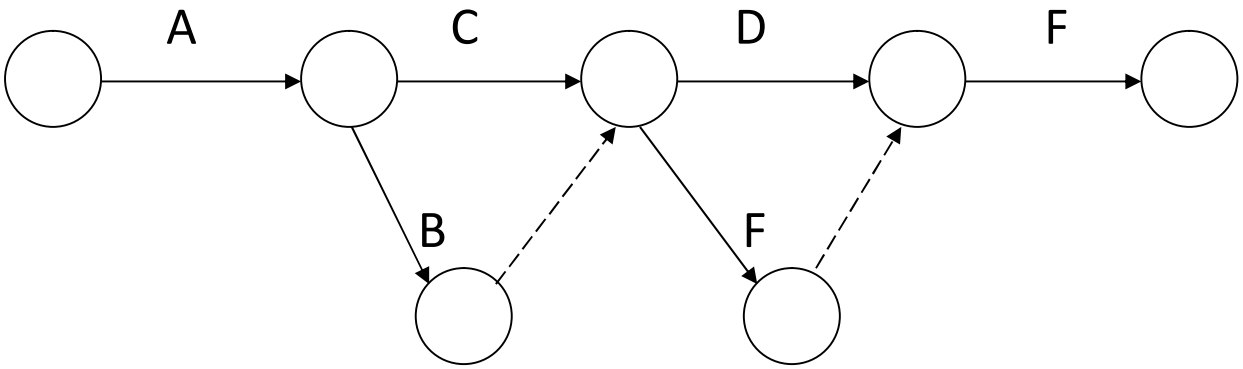
	operation	Man hours	Optimum number of men per operation
A	Substructure	180	6
B	Brick work	320	4
C	Joiner,1st fix	200	4
D	Tilers	60	2
E	Glazing	40	2
F	Joiner,2nd fix	120	3
G	Electrician	80	2
H	Plumber	100	2
I	Painter	40	3

The sequence of operation is shown in fig bellow



Ex 4: The construction plane for a house is shown in the figure shown bellow the following table gives the man hours required and the team size for each operation and the minimum buffer time between each activities prepare a line of balance schedule for a contract of 80 houses using a target rate of build of 3 houses per 2 day and each team working at their natural rate assume a6 day working weekly , eight hours per day

1- What is the overall duration of the project
2- The date of the end of construction of the house unit No 3
3- After the completion of the house no 30 the contract decided to release(2)team work from the activity (F) .Find the new completion data of the project.



Activity	Man hours	Optimum number of men per operation	Minimum buffer time
A	240	5	4
B	140	4	2
C	240	6	5
D	166	3	2
E	251	5	4
F	315	7	--