

## ألياب الثالث

### دوانر التثغيل working cycles

3- تصنف محركات الإحتراق الداخلي من حيث دوانر التثغيل بالآتى :

3.a محركات رباعية الأشواط four stroke engine .

3.B محركات ثنائية الأشواط two stroke engine .

طريقة التثغيل .

3.1 المحركات رباعية الأشواط four stroke engine .

وفى هذه المحركات تتم دورة التثغيل فى أربعة أشواط للمكبس ولقتين من عمود المرفق crank shaft وتشمل الدورة على شوط فعال واحد كل لفتين .

3.2 المحركات ثنائية الأشواط two stroke engine .

وفىها تتم دورة التثغيل فى شوطين من أشواط المكبس ولفة واحدة من عمود المرفق ، أى أنه يوجد شوط فعال واحد كل لفة من لفات عمود المرفق .

3.3 أولا : المحركات رباعية الأشواط :

سيوف نستعرض لشرح المحركات رباعية الأشواط وهى موضحة بدائرة التثغيل شكل 1-3 كما هو موضح بالرسم يوجد أربعة أشواط لكل لفتين من عمود المرفق ، والأربعة أشواط هى كالآتى :

شوط السحب suction stroke ، شوط ضغط الإنضغاط compression ، شوط التمدد pressure stroke ، شوط العادم exhaust stroke .

1- شوط السحب :

يبدأ شوط السحب بنزول المكبس من النقطة الميتة العليا top dead center إلى أسفل ساحبا معه الهواء الجوى - فى المحركات التى تعمل بدن شاحن جبرى أوهواء الشحن عند إستخدام الشاحن الجبرى - عن طريق صمام الحر- السحب - suction valve المفتوح وفى نفس الوقت يكون صمام العادم exhaust valve مغلقاً وتمتلئ الإسطوانة جزئياً بالهواء النقى هذا فى المحركات التى لا تستخدم شاحن جبرى وأما فى نظام الشاحن الجبرى يمتلئ حجم الإسطوانة الكلى ويمكن الوصول به من 3 إلى 4 بار.

ولنظافة الإسطوانة من بقايا العادم يستمر فتح صمام الحر - السحب - suction valve لدخول الهواء إلى الإسطوانة إلى ما بعد النقطة الميتة السفلى B . D . C بحوالى من  $25^0$  إلى  $30^0$  من زوايا عمود المرفق .

وبذلك يتيح لهواء الشحن نظافة الإسطوانة من بقايا غازات العادم ويعمل ذلك على ملء الإسطوانة بالهواء النقي .

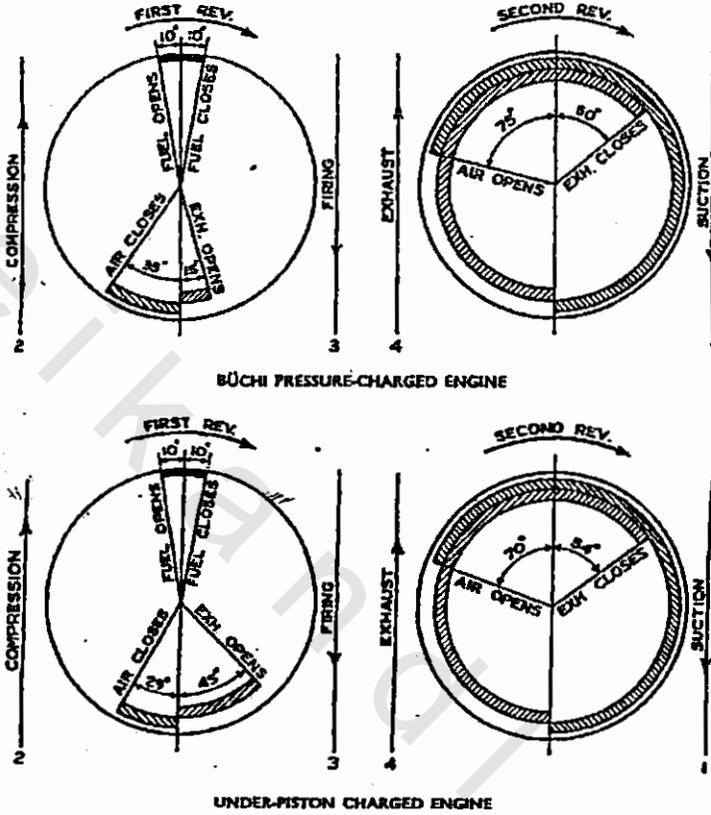


Figure 3 -1 four stroke cycle , sequence of events

## 2. شوط الضغط :

يبدأ تحرك المكبس إلى أعلى في شوط الضغط ويعمل على ضغط الهواء في الإسطوانة إلى حوالي 35 بار وبناءً على زيادة ضغطه يقل حجمه وترتفع درجة حرارته .

ويسمى الضغط في هذه الحالة ضغط بوليتروبيك polytropic وذلك لفقد الهواء للحرارة جزئياً عن طريق جدار الإسطوانة إلى مياه التبريد وكذلك عوامل أخرى وتصبح درجة حرارته في نهاية الشوط حوالي من 550 إلى 600 درجة مئوية في

غرفة الإحتراق ، و حجم غرفة الإحتراق تعتبر حوالى % 9 من حجم الإسطوانة الكلى .

### 3- الحريق وشوط التمدد :

قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا بحوالى من 10 إلى 20 درجة من درجات عمود المرفق يفتح حاقن الوقود - الرشاش - Injector متأثراً بضغط ظلمبة الحقن Injection pump العالى ، ويحقن وقود الديزل diesel fuel يشتعل فى الحال ويستمر الحقن إلى ما بعد النقطة الميتة العليا بحوالى 5 درجات من زوايا عمود المرفق .

لا يتوقف الحريق مع غلق حاقن الوقود ولكنه يستمر لبعض الوقت ومع إنحدار المكبس إلى أسفل يتمدد الغاز ، وهذا التمدد يعتبر تمدد بوليتروبيك Polytropic وذلك لفقد الغاز بعض درجات الحرارة .

ويكون الضغط حوالى  $8.5 \text{ kgf/cm}^2$  ويستمر التمدد حتى يصل ضغطه إلى حوالى 3 كيلوجرام قوة /  $\text{سم}^2$  وهذا الضغط هو ضغط غازات العادم الخارجة من المحرك .

### 4- شوط العادم :

يفتح صمام العادم من 20 إلى 50 درجة من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى ويتم هروب غازات العادم إلى الخارج - بمجرد فتح صمام العادم - بسرعة ويقل ضغطها ، وبصعود المكبس يطرد غازات العادم إلى الخارج عن طريق صمام العادم ويفتح صمام السحب لنظافة الإسطوانة ويعرف الوقت المشترك لفتح صمامى الحر والعادم بوقت التراقب overlap . ويتيح هذا نظافة الإسطوانة وملؤها بالهواء النقى وبعد ذلك تبدأ الدورة الجديدة .

### 3.4 ثانيا : المحركات ثنائية الأشواط Two stroke engine .

طريقة التشغيل :

a - المحركات أحادية التأثير single acting .

يكون التأثير من أعلى المكبس فقط .

b - المحركات ثنائية التأثير double acting .

يكون التأثير من أعلى ومن أسفل المكبس .

وللعلم فإن المحركات ثنائية التأثير قد إنقرضت للأسباب الآتية :

1- صعوبة صيانة المحرك .

2- زيادة الإجهادات الميكانيكية والحرارية .

- 3- صعوبة الحصول على ثابت الإسطوانة من جانب الصانع .  
 4- عدم الحصول على الضغوط والمنحنيات البيانية السليمة .  
 3.4a المحرك ثنائى الأشواط أحادى التأثير single acting .  
 هى محركات ثنائية الأشواط كما هو موضح بدائرة التشغيل 3. 2 . ويوجد منها نوعان .
- 1- محركات ذات إسطوانات بفتحات لدخول هواء الشحن وأخرى لخروج غازات العادم وللعلم فإن فتحات العادم أعلى من فتحات الحر بحوالى من 20 إلى 30 درجة من زوايا عمود المرفق .
- 2 - محركات ذات إسطوانة مجهزة بفتحات لدخول الهواء النقى ، وصمام عادم

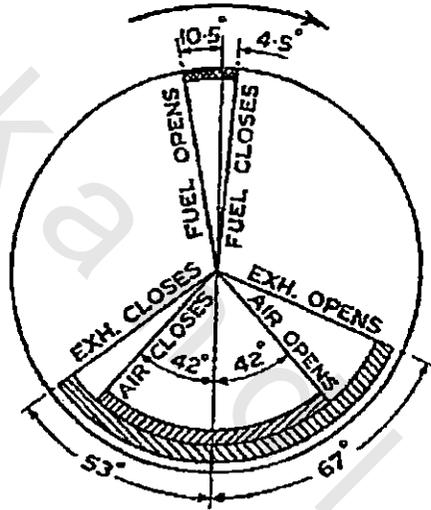


figure 3.2 two stroke engine cycle

أعلى الإسطوانة مركب على رأس الإسطوانة ويسمى هذا النوع uniflow direction ويتميز بأن عملية الكسح scavenging فى إتجاه واحد لأعلى . ودائرة التشغيل موضحة كما هو بالرسم 3-2 .  
 وتبدأ الدورة فى المحركات ثنائية الأشواط بشوط التمدد والعادم .  
 شوط التمدد والعادم :

تبدأ الدورة فى المحركات ثنائية الأشواط أحادية التأثير ذات فتحات الحر والعادم بحقن الرشاش للوقود قبل النقطة الميتة العليا top dead center بحوالى 10 درجات من زوايا عمود المرفق ويشتعل وقود الديزل مولداً ضغطاً عالياً يدفع المكبس إلى أسفل وعند الدرجة 67 من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى يكشف المكبس عن فتحات العادم وتخرج غازات العادم ويصل ضغطه

إلى حوالي 3 بار وعند حوالي 42 درجة من زوايا عمود المرفق قبل النقطة الميتة السفلى تفتح فتحات هواء الشحن ، ويدخل الهواء النقي ويدفع أمامه غازات العادم وتسمى بعملية الكسح scavenging ويعمل على نظافة الإسطوانة من غازات العادم ، وعند وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى وصعوده مرة أخرى إلى أعلى يقوم بقل فتحات دخول الهواء وتستمر فتحات العادم مفتوحة إلى ما بعد حوالي 53 درجة من النقطة الميتة السفلى وعندها يقلل المكبس فتحات العادم ويبدأ بعد ذلك شوط الضغط والحريق .

شوط الضغط والحريق Firing and compression stroke :

يبدأ شوط الضغط بعد النقطة الميتة السفلى بحوالي 53 درجة من زوايا عمود المرفق ويرتفع ضغط الهواء وترتفع درجة حرارته إلى حوالي 550 إلى 600 درجة مئوية ثم يقوم الرشاش بحقن الوقود على هيئة رذاذ عن طريق ضغط طلمبة حقن الوقود المرتفع في غرفة الإحتراق وبهذا تتم الدورة وتبدأ الدورة التالية

طرق الكسح :

3.5 طرق كسح غازات العادم a , b , c , d .

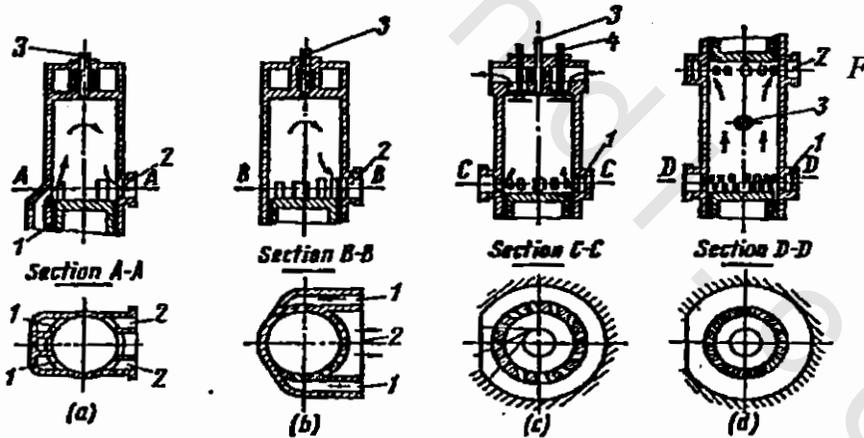


Figure 3-3 diagrams of gas exchange employed in two stroke engine a- loop opposed port scavenging with parallel ; b- simple loop scavenging with eccentric parts ; c- uniflow scavenging with exhaust through the valve ; d- uniflow port scavenging in engines with opposed piston ; 1- scavenging ports ; 2- exhaust ports ; 3 – nozzle ; 4 exhaust valve

### 3.5a الكسح العرضى port scavenging loop opposed :

وكما هو موضح فى الشكل رقم 3.3<sub>a</sub> توجد فتحات الكسح والعامد بأسفل الإسطوانة متقابلتين ويقل مستوى فتحات كسح الهواء النقى عن فتحات غاز العامد وفى بعض الأحيان يعمل السطح الأسفل للمكبس كضاغط لشحن الهواء بسحب من الخارج عن طريق شرايح من الصلب مركب عليها شرايح من الصلب بها إنحناء تقوم بالضغط عليها والجميع تكون صمام لدخول الهواء . وبصعود المكبس إلى أعلى يتولد تفريغ أسفل المكبس يعمل على إندفاع الهواء إلى داخل حيز الإسطوانة السفلى ، وينزل المكبس إلى أسفل يقلل صمام شرايح الصلب ويتم ضغط الهواء إلى المحرك عن طريق فتحات السحب . ومن سينات هذا النظام أن نسبة الفقد فى شحنة الهواء كبيرة علاوة على عدم نظافة وخلو الإسطوانة تماما من غازات العامد حيث يتبقى جزء من الغازات فى أركان الإسطوانة .

### 3.5b الكسح الدائرى البسيط Simple loop scavenging .

كما هو موضح بالرسم 3.3<sub>b</sub> يتم دخول الهواء النقى عن طريق فتحات الكسح ويتجه إلى أعلى ويتم دورانه إلى أسفل فى إتجاه فتحات العامد . ويتطور الفتحات أمكن زيادة كفاءة الكسح ويمتاز هذا النوع بالتخلص من النظام السابق لصمامات شرايح الصلب الموجودة على فتحات العامد وبالتالي تقل الصيانة .

ويسمح بتصميم أنسب غرفة إحتراق للحصول على أعلى كفاءة إحتراق ويستخدم هذا النظام فى محركات M A N , sulzer .

### 3.5c- الكسح الطولى Uniflow scavenging .

كما هو موضح بالشكل 3.3<sub>c</sub> يتم دخول الهواء عن طريق فتحات دخول الهواء النقى ويكسح أمامه غازات العامد إلى أعلى ويخرج عن طريق صمام علوى ويعتبر هذا النوع من الكسح من الطرق الممتازة للحصول على أعلى كفاءة والهواء يسير فى حركة حلزونية مما يساعد على جودة الحريق .

### 3.5d- الكسح الطولى لمحركات Dixford :

الكسح الطولى عن طريق فتحات أعلي وأسفل الإسطوانة وهذه الطريقة مصممة فى المحركات المضادة المكابس opposed piston مثل محركات dixford كما هو مبين بالشكل 3.3<sub>d</sub> والفتحات السفلى تعمل على دخول الهواء بعد كشف تاج

المكبس piston crown لها . والفتحات العلوية خاصة بخروج العادم نتيجة إزاحة هواء الشحن لها من أسفل وتعتبر هذه الطريقة أيضاً من الطرق المستحبة لكفاءة كسح العادم تماماً من الإسطوانة .

### 3.6- مقارنة بين محركات الديزل رباعية وثنائية الأشواط :

عند المقارنة بين محركات الديزل رباعية وثنائية الأشواط والتي لها نفس الأبعاد وعدد اللفات وذلك في الماضي ولكن الآن يوجد الشحن التربيني الذي يتخذ حركته من غازات العادم .

a- وجد أن المحرك ثنائي الأشواط يجذب الإهتمام خصوصاً في القدرات الكبيرة والتي تتجاوز العشرة آلاف كيلواط وذلك لمضاعفة القدرة النظرية عن مثيلاتها من المحركات رباعية الأشواط وعملياً تقل بنسبة % 10 نظراً لوجود ظلمة المكسج الملحقة بالمحرك وذلك في الماضي ولكن الآن يوجد الشاحن التربيني الذي يأخذ حركته من غازات العادم بالإضافة إلى فقد في شحنة الهواء النقي عبر بوابات العادم .

b- سهولة نظافة الإسطوانة من غازات الإحتراق في المحركات رباعية الأشواط نظراً لطول الفترة المتاحة لإتمام ذلك - فترة التراكب overlap - مما يساعد على تحسين الجودة الحجمية volume efficiency وبالتالي الجودة الحرارية .  
η<sub>th</sub>

c- تتعرض غرفة الإحتراق في المحركات ثنائية الأشواط لإجهادات حرارية عالية تكون ضعف الحالة في المحركات رباعية الأشواط نظراً لتعرضها لدرجات حرارة كبيرة كل شوطين وليس كل أربعة أشواط ، وذلك يتطلب الدقة التامة في إختيار المعادن التي تتميز بتحسين الخواص الميكانيكية وكذلك الحرارية .

d - في المحركات ثنائية الأشواط يلاحظ التحسن في توزيع عزم الدوران على عمود المرفق نظراً لأن دورة التشغيل تتم في شوطين من المكبس ولفة واحدة من عمود المرفق crank shaft كذلك عدم وجود شغل سائب مفقود في شوط السحب والعادم كما هو في المحركات الرباعية .

e- سهولة صيانة المحركات ثنائية الأشواط لوجود فتحات لهواء الشحن وأخرى للعادم حيث أن الصمامات تحتاج دائماً إلى صيانة مستمرة بالإضافة إلى سهولة تصميم رأس الإسطوانات مما يسبب الحصول على أنسب شكل لغرفة الإحتراق .

f- سهولة عكس الحركة للمحركات ثنائية الأشواط وذلك لعدم وجود عمود كامات وصمامات الهواء والعامد .  
g- تقل الكفاءة الحجمية بصورة واضحة عند زيادة السرعة للمحركات ثنائية الأشواط .

### 3.7 القدرة الحصانية البيانية – Indicated horse – power

$$i.h.p = \frac{N \times P \times L \times a \times n}{4500} \quad 3-1$$

where i.h.p = indicated horse – power of engine (meter horse power) ;  $N =$

number of cylinders on one engine ;

$p =$  mean indicated pressure ( m.i.p) in cylinders  $kgf/cm^2$  ;

$L =$  engine stroke, in meters ;

$n =$  number of working stroke per min ;

$a =$  cross – sectional area of one cylinder in  $cm^2$  .

4500= kg meter per min = metric horse – power

### 3.8 ثابت الإسطوانة Cylinder constant

يكون إهتمام المهندسين العاملين على السفن بنوع وحجم المحرك وعمل حسابات كثيرة لقدرة المحرك وبإستطاعتهم الإستعاضة عنها بواسطة إستخدام ثابت الإسطوانة فى حسابات القدرة .

$$i.h.p = mip \times R \times C \quad (\text{per cylinder}) ; \quad 3-2$$

where mip = mean indicated pressure in  $kgf / cm^2$  ;

$R =$  rev /min ;

$C =$  cylinder constant .

$$\text{and } ihp = mip \times R \times K \quad (\text{per engine}). \quad 3-3$$

where  $K = C \times$  number of cylinders

$$.ihp = \frac{p \times l \times a \times n}{4500} \quad \text{per cylinder} .$$

for a single - acting four- stroke engine where  $n = \frac{R}{2}$

$$\therefore \frac{p \times l \times a \times n}{4500} = p \times R \times \frac{(l \times a)}{9000}$$

where  $\frac{l \times a}{9000} =$  cylinder constant .

. مثال على ثابت الإسطوانة example of cylinder constant

650 mm bor , 1400 mm stroke S . A . 4C

C = 0.5162 ( one cylinder ) .

K = 4.1296 ( eight cylinders ) .

740 mm , 1500 mm stroke , S . A , 4C .

C = 0.7168 ( one cylinder ) .

K = 4.3008 ( six - cylinder engine ) .

570mm bor , 2000mm totat stroke S . A . 2C .

C = 1.9635 ( one cylinder ) .

K = 13.7445 ( seven- cylinder engine ) .

ولقد وضحنا من قبل صعوبة تحديد ثابت الإسطوانة من قبل الصانع للمحركات  
ثنائية الأشواط ثنائية التأثير .

### 3.9 الكفاءة الميكانيكية Mechanical efficiency .

$$\eta_{mec} = \frac{\text{out put at crank shaft}}{\text{input at cylinder}} = \frac{\text{bhp}}{\text{ihp}} \quad 3-4$$

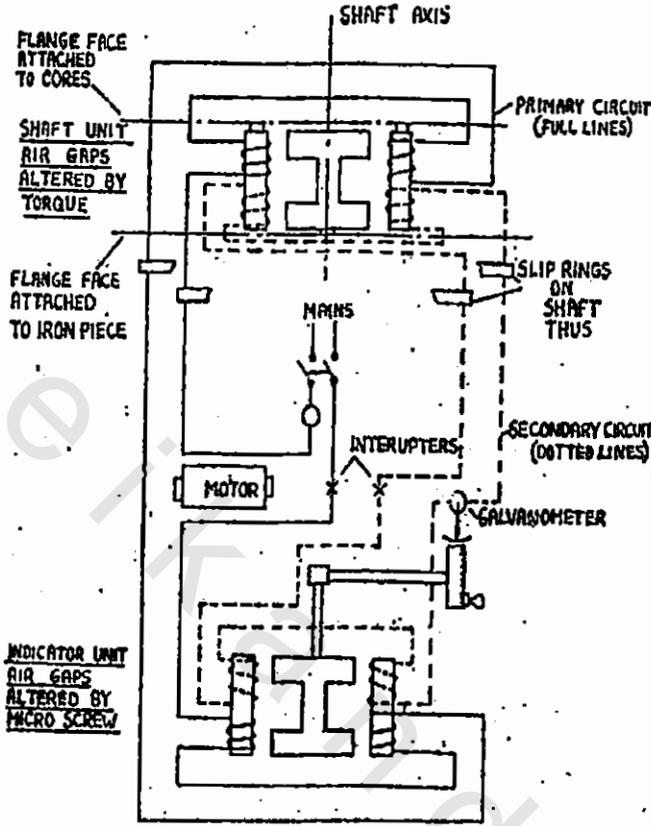
or

$$\text{bhp} = \text{ihp} \times \eta_m .$$

وعادة تحدد القدرة الفرملية بواسطة dynamometer لقياس القدرة بواسطة  
فرشة إختبار المصنع أما على ظهر السفينة يكون بواسطة torsion meter مقياس  
اللي ، وذلك بوضعه خلف كرسي الدفع .

وتكون القدرة المحسوبة بجهاز torsionmeter أقل من القدرة الفرملية المأخوذة  
من جهاز dynamometer نتيجة القدرة المفقودة بواسطة كرسي الدفع ويوضح  
الشكل رقم 4-3 جهاز dynamometer وجهاز اللي torsion meter الشكل  
رقم 3-5 .





ELECTRICAL TYPE TORSIONMETER.

Figure 3-5

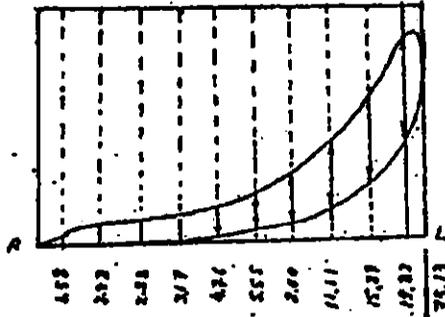
### 3.10 الضغط المتوسط البياني للإسطوانة Mean indicated pressure

$$mip = \frac{\text{workdone in cyl on working stroke}}{\text{swept vlume}} = \frac{mip \times a \times l}{a \times l} \quad 3-5$$

ومن الناحية العملية فإن جهاز المبين للضغط المتوسط البياني الحصول على منحنى كامل للشغل المبذول لكل إسطوانة .

ولحساب المساحة للمنحنى شكل 3-6 يقسم طول المنحنى إلى عشرة أقسام نصفين بالجانبين وتسعة أقسام كاملة بالوسط ، ويقاس إرتفاعات الأعمدة عند هذه الأقسام ويؤخذ متوسطها وتقسّم على 10 لنحصل على متوسط الضغط البياني كما هو موضح بالشكل 3.6 .

ويتقدم العلم فقد تم إنتاج أجهزة للحصول على الضغط المتوسط البياني وكذلك الحصول على القدرة البياتيية للإسطوانة فوراً .



$$1 \text{ m.m} = 1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$m.i.p = \frac{75.13}{10} = 7.513 \text{ Kg/cm}^2$$

Figure 3 - 6

3.11 السرعة المتوسطة للمكبس piston mean speed

Mean piston speed ( meters /sec =  $\frac{l \times R}{30}$  . 3-6

where  $l$  = stroke in meters .

$R$  = rev/min .

consumption per 24 hours

3.12 إستهلاك الوقود في ٢٤ ساعة

fuel

In metric units .

$$W = \frac{w \times shp \times 24}{10^6} \quad 3-7$$

$$w = \frac{10^6 \times W}{24 \times shp} \quad 3-8$$

Where  $W$  = total fuel consumption per day metric tons ;

$w$  fuel consumption rate, g /shp h ( metric )

one metric ton =  $10^6$  grams .

in SI units

$$W = \frac{w \times kw \times 24}{10^3} \quad 3.9$$

$$w = \frac{10^3 \times W}{kw \times 24} \quad 3.10$$

where  $w$  = fuel consumption kg / kwh .

$W$  = total fuel consumption per day , tonnes .

one tonne = 1000 kg.