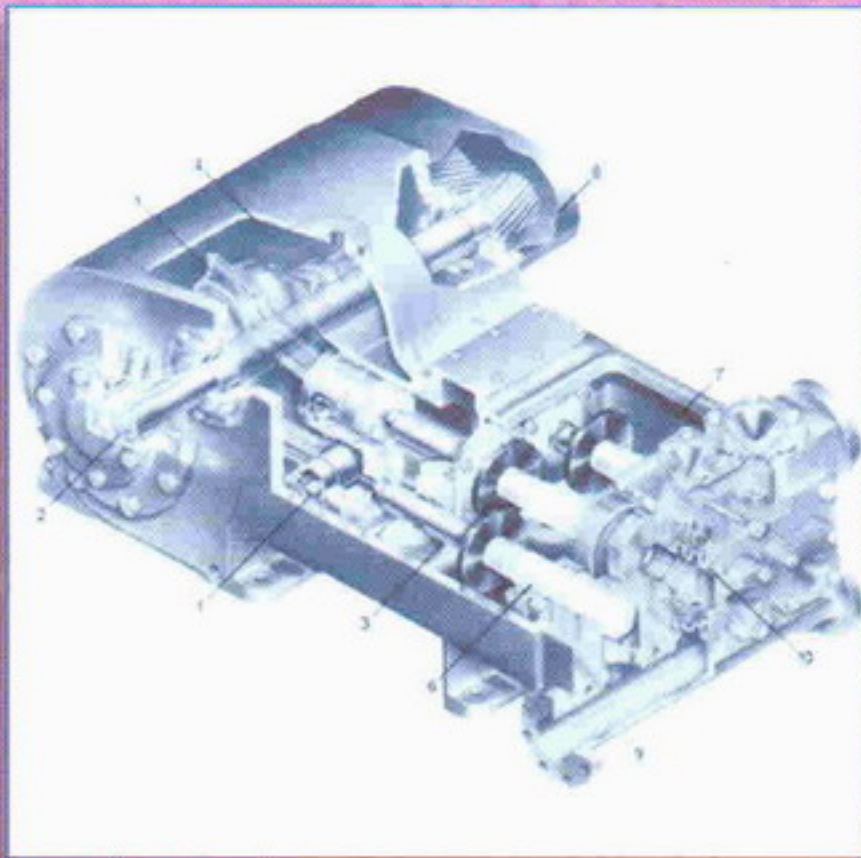
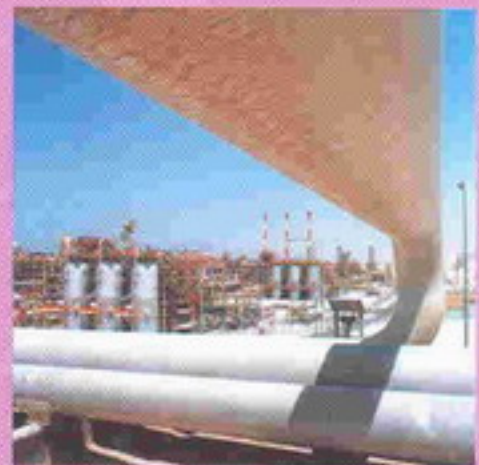




شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالای نفت تهران



آشنایی با پمپ های گل حفاری

مدیریت پشتیبانی ساخت و تعمیرات ماشین آلات دوار

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



شرکت ملی پالایش نفت ایران

شرکت پشتیبانی  
ساخت و تهیه  
کالای نفت تهران

# آشنایی با پمپ های گل

- ۵ پیشگفتار
- ۵ ۱- مقدمه
- ۵ ۲- شرح مختصری بر پمپهای گل
- ۳- دلیل استفاده و کاربردهای
- ۷ پمپهای رفت و برگشتی
- ۸ ۴- تقسیم بندی پمپهای رفت و برگشتی
- ۵ ۵- اندازه پمپهای رفت و برگشتی
- ۶ ۶- بخشهای مختلف پمپهای Power
- ۱۷ ۷- تعاریف

## پیشگفتار

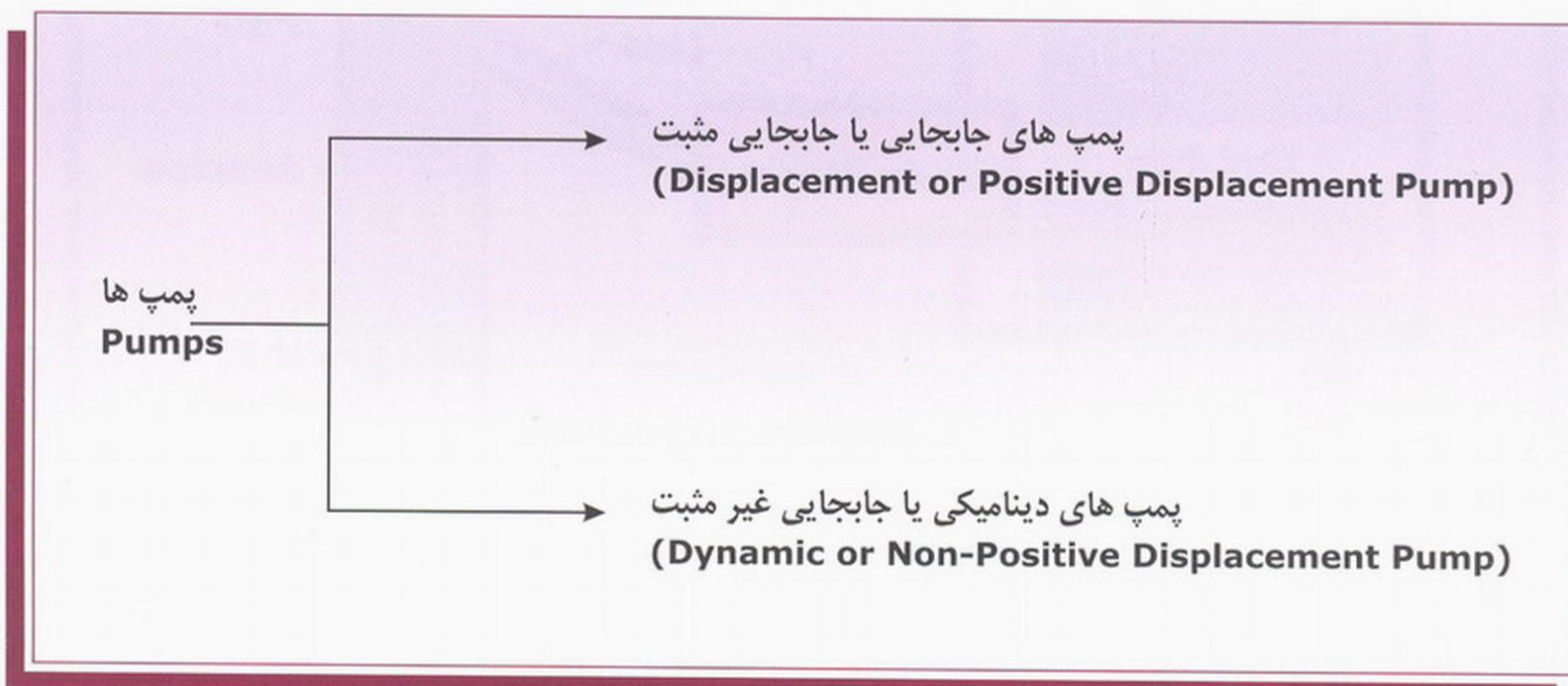
یکی از ضروریات توسعه صنعتی و اقتصادی، تامین انرژی و انتقال آن می باشد. نظر به اینکه کشور ما یکی از کشورهای در حال توسعه است این مبحث یکی از مباحث مهم و حیاتی می باشد. به علت داشتن ذخایر عظیم نفت و گاز در کشور به نظر می رسد برنامه ریزی بر اساس استفاده از این انرژی ها جهت گیری مناسبی باشد. از سوی دیگر با توجه به امکانات صادرات و نیاز دیگر کشورها به انرژی، برنامه ریزی جهت صادرات بیشتر جهت تامین ارز مورد نیاز کشور، داشتن امکانات و تاسیسات لازم جهت استخراج، پالایش و انتقال را می طلبد. با وجود اینکه مدت زیادی از استخراج نفت و گاز و تاسیس صنایع نفت و گاز و پتروشیمی در کشور ما می گذرد، اما فن آوری لازم بویژه فن آوری روز آمد در این صنایع وجود ندارد. پمپ های گل (Mud Pumps) از بخش های بسیار مهم در سیستم های حفاری چاه های نفت و گاز می باشند به همین دلیل بررسی و مطالعه این پمپ ها گامی در جهت دستیابی به دانش فنی و تکنولوژی ساخت آن را فراهم می آورد. مجموعه حاضر با هدف شناخت کلی در مورد پمپ های رفت و برگشتی که به طور گسترده به عنوان پمپ های گل در سیستم های حفاری استفاده می شوند تهیه گردیده است.

## ۱- مقدمه

پمپها را میتوان بر اساس ویژگیهایی مانند کاربرد، مواد سازنده و سیال پمپ شونده آنها دسته بندی کرد. اگر پمپها بر اساس موارد فوق دسته بندی شوند، امکان این که پمپی در چند دسته بندی قرار گیرد وجود دارد. نحوه انتقال انرژی به مایعی که پمپ میشود، مهمترین روشی است که برای دسته بندی پمپها در نظر گرفته میشود. بر اساس این روش، پمپها به دو گروه اصلی پمپهای جابجایی (Displacement Pumps) یا پمپهای جابجایی مثبت (Positive Displacement Pumps) و پمپهای دینامیکی (Dynamics Pumps) یا پمپهای جابجایی غیر مثبت (Non-Positive Displacement Pumps) تقسیم میشوند.

## ۲- شرح مختصری بر پمپهای گل

گل حفاری وظیفه خنک کاری مته های حفاری (Drill Bits) و همچنین خارج نمودن قطعات کنده شده (Cuttings) را بر عهده دارد. این گل توسط یک پمپ که به پمپ گل (Mud Pump) معروف است به صورت تزریقی به داخل مته های حفاری تزریق می شود. پمپ های گل (Mud Pumps)، گل حفاری را از مخزن گل (Mud Pits) مکیده و به داخل تجهیزات

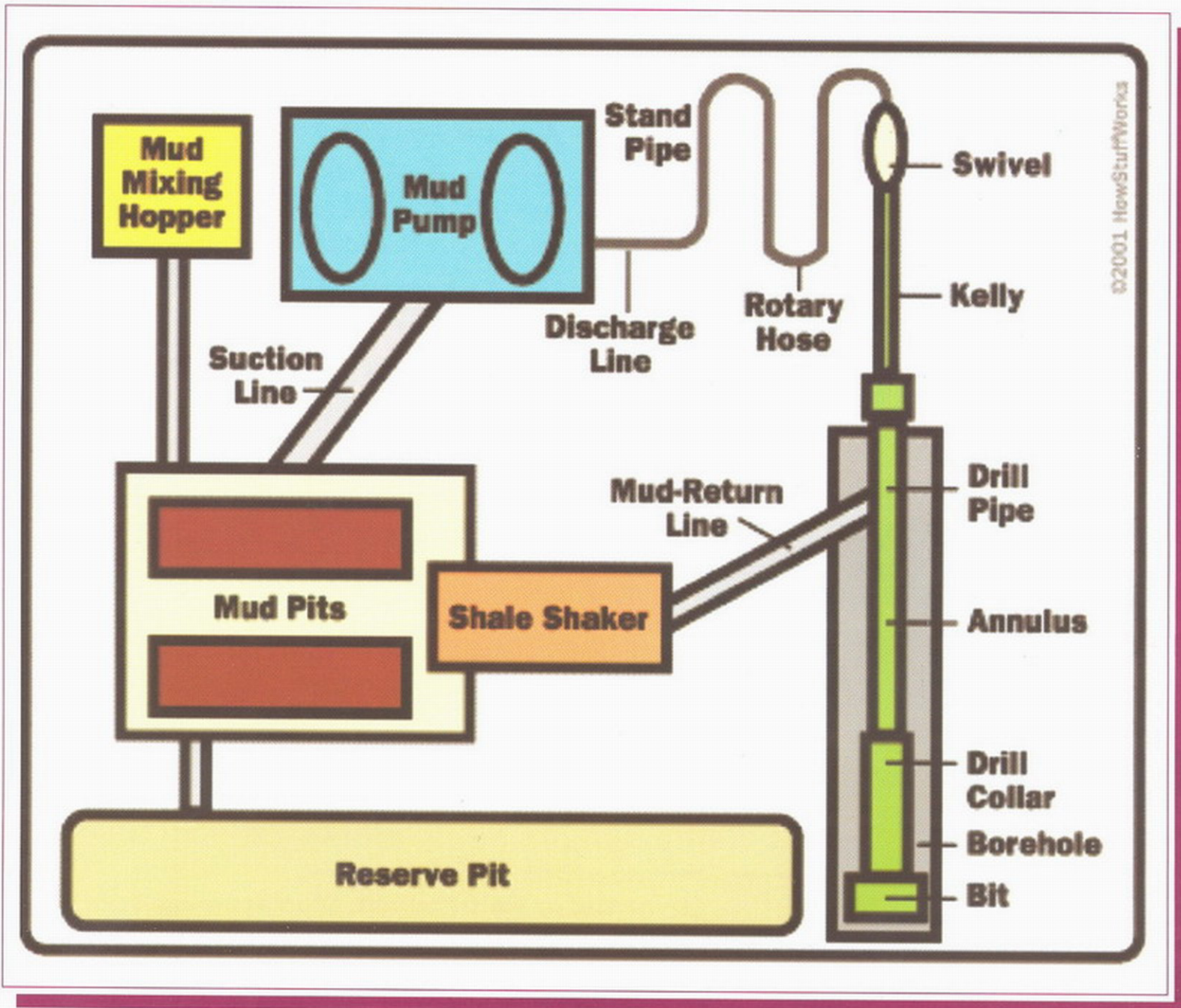


شکل ۱: نمودار تقسیم بندی پمپها

برگشتی یک المان مثل پیستون، پلانجر یا دیافراگم می باشد. این پمپ ها جزء دسته پمپهای جابجایی مثبت (Displacement Pumps یا Positive Displacement Pumps) می باشند که یک حجم مشخصی از سیال را از ورودی دریافت نموده و با فشردن سازی به سمت خروج هدایت می کنند و برخلاف پمپهای سینماتیکی جهت دستیابی به فشار نیازی به سرعت ندارند و فشارهای بالا در سرعتهای پایین نیز قابل دسترس می باشند.

حفاری پمپاژ می نمایند و طی فرآیند حفاری، گل حفاری از طریق خط برگشت (Mud Return Line) دوباره به داخل مخزن گل تخلیه می گردد. سیکل چرخش گل حفاری مطابق شکل زیر می باشد.

پمپهای مورد استفاده در این سیستم غالباً از نوع رفت و برگشتی (Reciprocating Pump) می باشند که سیال پمپ شونده یعنی گل حفاری را در بخش مکش (Suction Line) محبوس نموده و با فشردن سازی به سمت رانش هدایت می کنند که فشردن سازی سیال ناشی از حرکت رفت و



شکل ۲: سیکل چرخش گل حفاری

### ۳- دلیل استفاده و کاربردهای پمپهای رفت و برگشتی

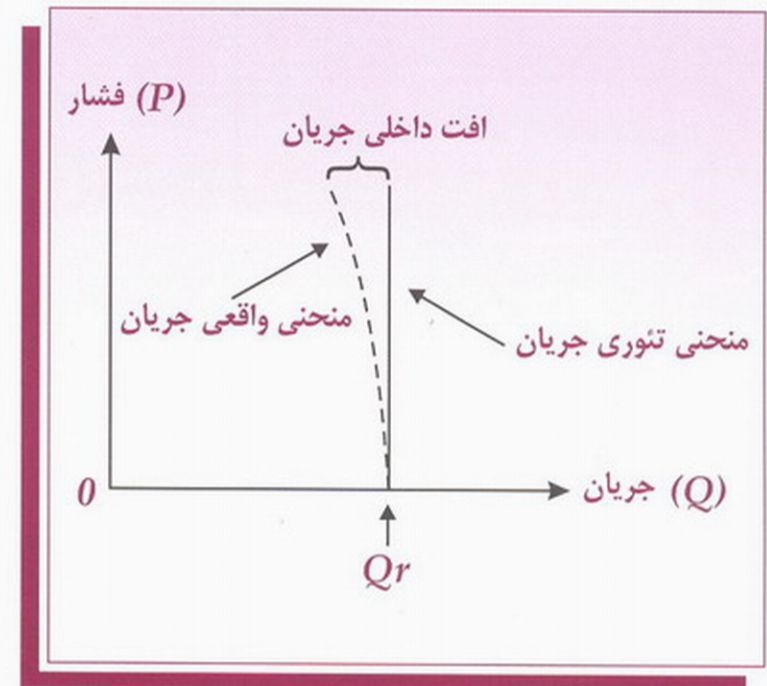
انتخاب یک پمپ رفت و برگشتی به جای یک پمپ سانتریفوژ باید از نظر هزینه کلی (شامل نگهداری و تعمیرات) ارزش داشته باشد. در برخی موارد بهترین انتخاب پمپهای رفت و برگشتی میباشد که در زیر به چند نمونه اشاره شده است:

- 1] High-Pressure Water Cleaning (20gpm at 10,000psig)
- 2] Glycol Injection (5gpm at 1,000 psig)
- 3] Ammonia Charging (40gpm at 4,000 psig)

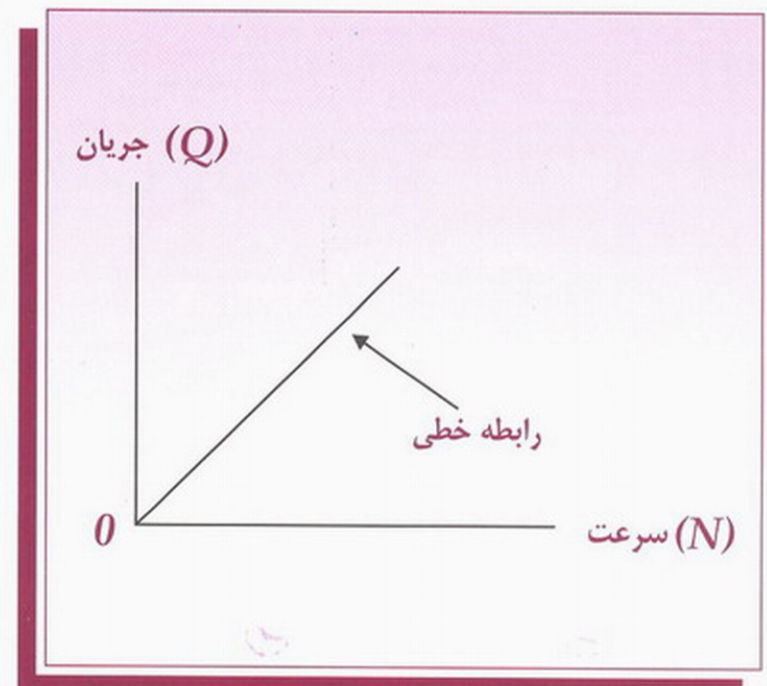
سایر موارد مثل سیالات ساینده و سیالات Slurry با فشاری بالاتر از ۵۰۰ psig میباشد که محدوده وسیعی را شامل میشود. از نکات قوت پمپهای Power میتوان به راندمان بالای آنها که معمولاً بین ۸۵ تا ۹۴ درصد میباشد اشاره کرد. افت تقریبی ۱۰ درصد شامل تمامی تلفات از جمله افت تسمه، چرخ دنده، بیرینگ، پکینگ و شیرها می باشد.

نکته قابل توجه دیگر در مورد پمپهای رفت و برگشتی این است که در این پمپها ظرفیت تابعی از سرعت است و تقریباً از فشار رانش مستقل است. بنابراین یک Power Pump با سرعت ثابت که ۱۰۰ gpm را در ۵۰۰ psig تأمین میکند میتواند ۱۰۰ gpm را در ۳۰۰۰ psig نیز تأمین نماید. پمپهای Direct-Acting نیز مزایتهای مشابهی دارند. محدوده فشار سمت رانش بین ۳۰۰ تا ۵۰۰۰ psig میباشد و در برخی موارد به ۱۰۰۰۰ psig نیز میرسد. ظرفیت این پمپها صرفنظر از فشار بخش رانش تابعی از سرعت می باشد. عملکرد پمپهای Direct Acting از آنجا که Crank Case، Bearing housing و مخزن روغن ندارند به مقدار کمی تحت تأثیر دود و بخارهای خورنده قرار می گیرد. این پمپها آرام و ساده از نظر نگهداری میباشند و سرعتهای پائین و ساخت محکم آنها موجب طول عمر بالای آنها می شود.

شکلهای زیر منحنیهای فشار و جریان این نوع پمپها را نمایش می دهند.



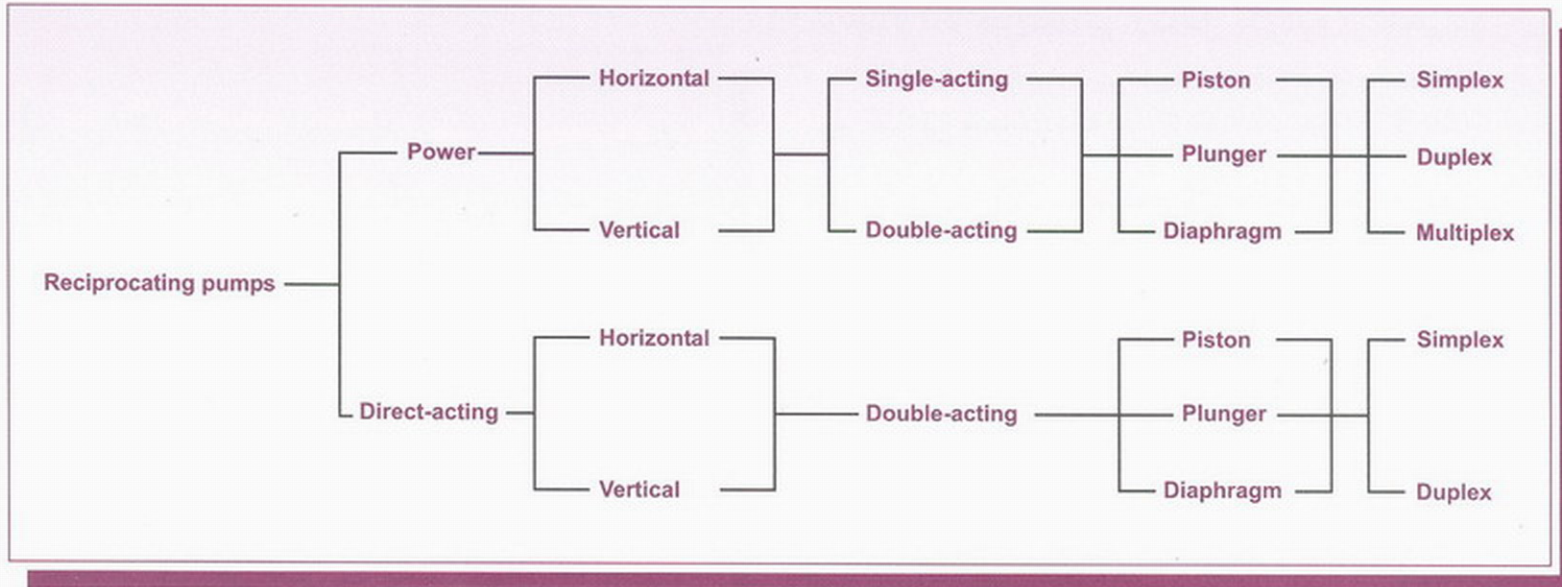
شکل ۳: منحنیهای فشار برحسب جریان در سرعت ثابت پمپ



شکل ۴: منحنی جریان برحسب سرعت

### ۴- تقسیم بندی پمپهای رفت و برگشتی

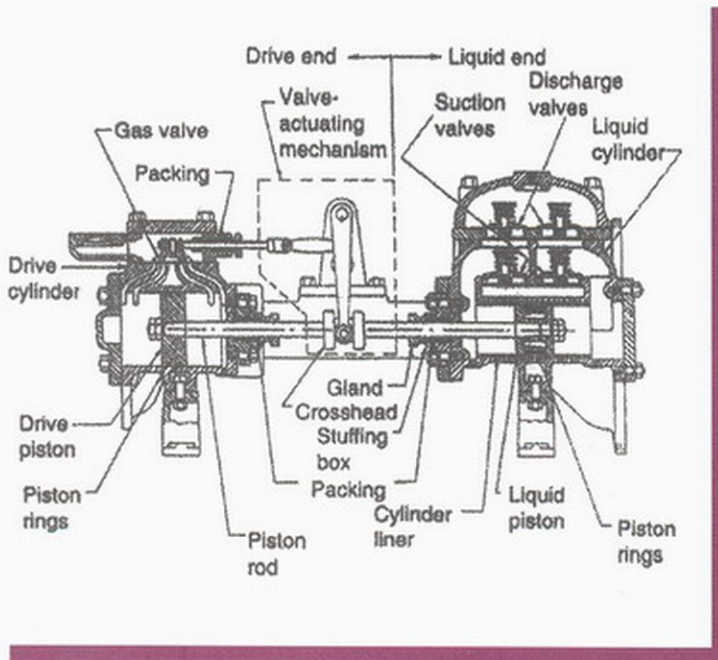
شکل زیر تقسیم بندی کلی پمپهای رفت و برگشتی را نمایش می دهد.



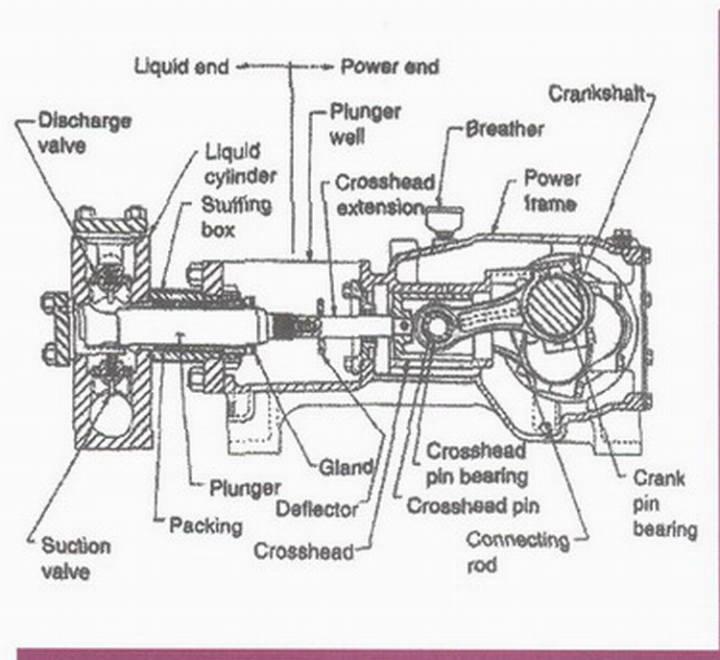
شکل ۵: تقسیم بندی پمپهای رفت و برگشتی

محرك پمپ صورت گرفته است. شكلهاي زير اين دو دسته از پمپهاي رفت و برگشتي را با اجزاء تشكيل دهنده هر يك نمايش مي دهد.

همانگونه که از شکل ملاحظه می شود این نوع پمپها به دو دسته کلی Direct Acting Pumps و Power Pumps تقسیم بندی می شوند که این تقسیم بندی بر مبنای نوع



شکل ۷: یک پمپ رفت و برگشتی از نوع Direct Acting

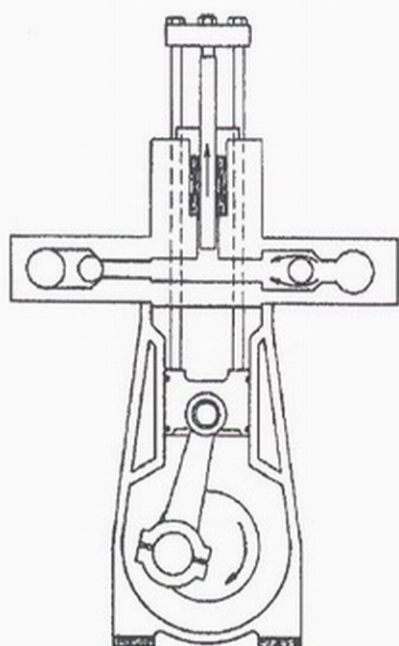


شکل ۶: یک پمپ رفت و برگشتی از نوع Power

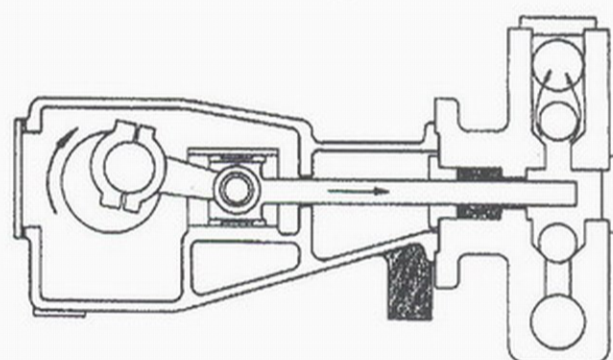
تعداد سیکل‌های تخلیه در هر سیکل درایور (Single Acting) و (Double Acting)، نوع المانی که حرکت رفت و برگشتی را انجام می‌دهد (Piston، Plunger، Diaphragm) و تعداد المان پمپاژ (Simplex، Duplex، Multiplex) می‌باشد. در شکل‌های زیر انواع این پمپها نمایش داده شده‌اند:

در پمپ‌های رفت و برگشتی از نوع Power حرکت دورانی یک موتور از طریق یک میل لنگ و شاتون به حرکت رفت و برگشتی تبدیل می‌شود حال آنکه در پمپ‌های Direct Acting حرکت رفت و برگشتی از طریق یک پیستون دیگر و یک سیال عامل دیگر تامین می‌شود. تقسیم بندی‌های دیگر این پمپها مربوط به امتداد محور پمپ (Vertical و Horizontal)،

#### ۴-۱- تقسیم بندی بر مبنای امتداد محور

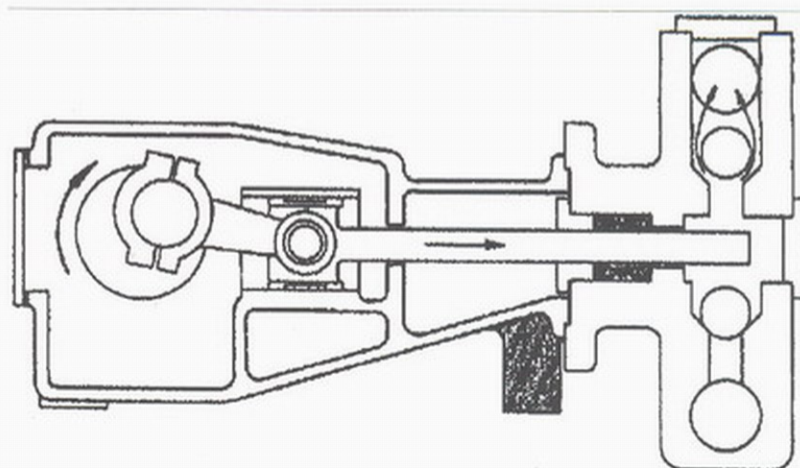


شکل ۹: یک پمپ Power پلانجری قائم و Single Acting



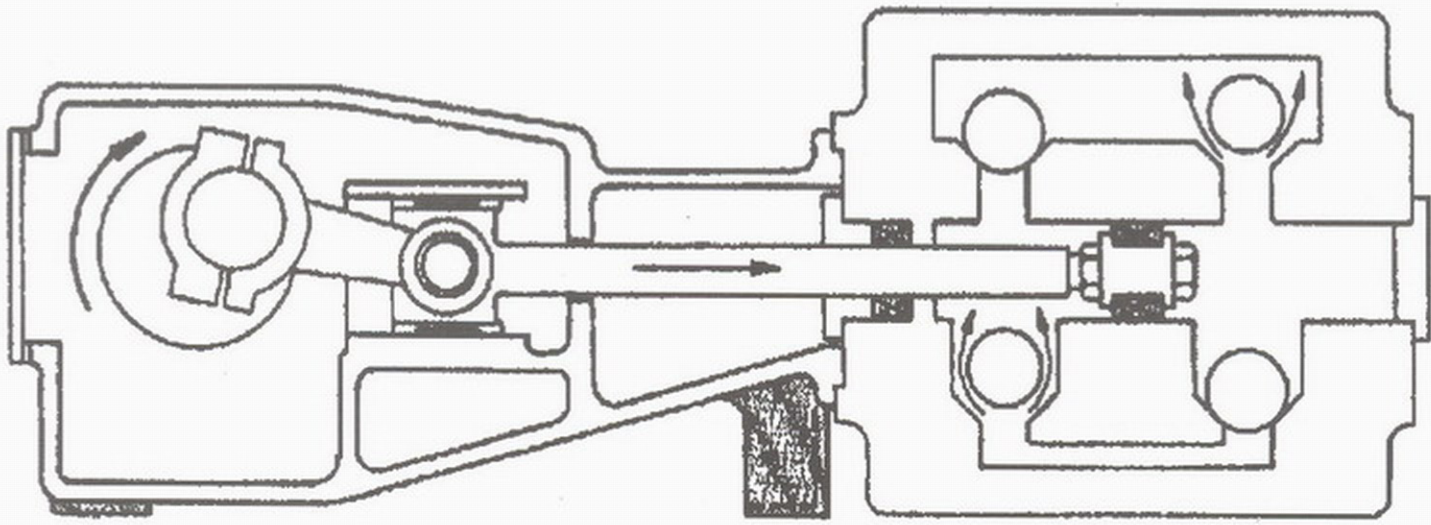
شکل ۸: یک پمپ Power پلانجری محوری و Single Acting

#### ۴-۲- تقسیم بندی بر مبنای سیکل‌های تخلیه در هر سیکل درایور



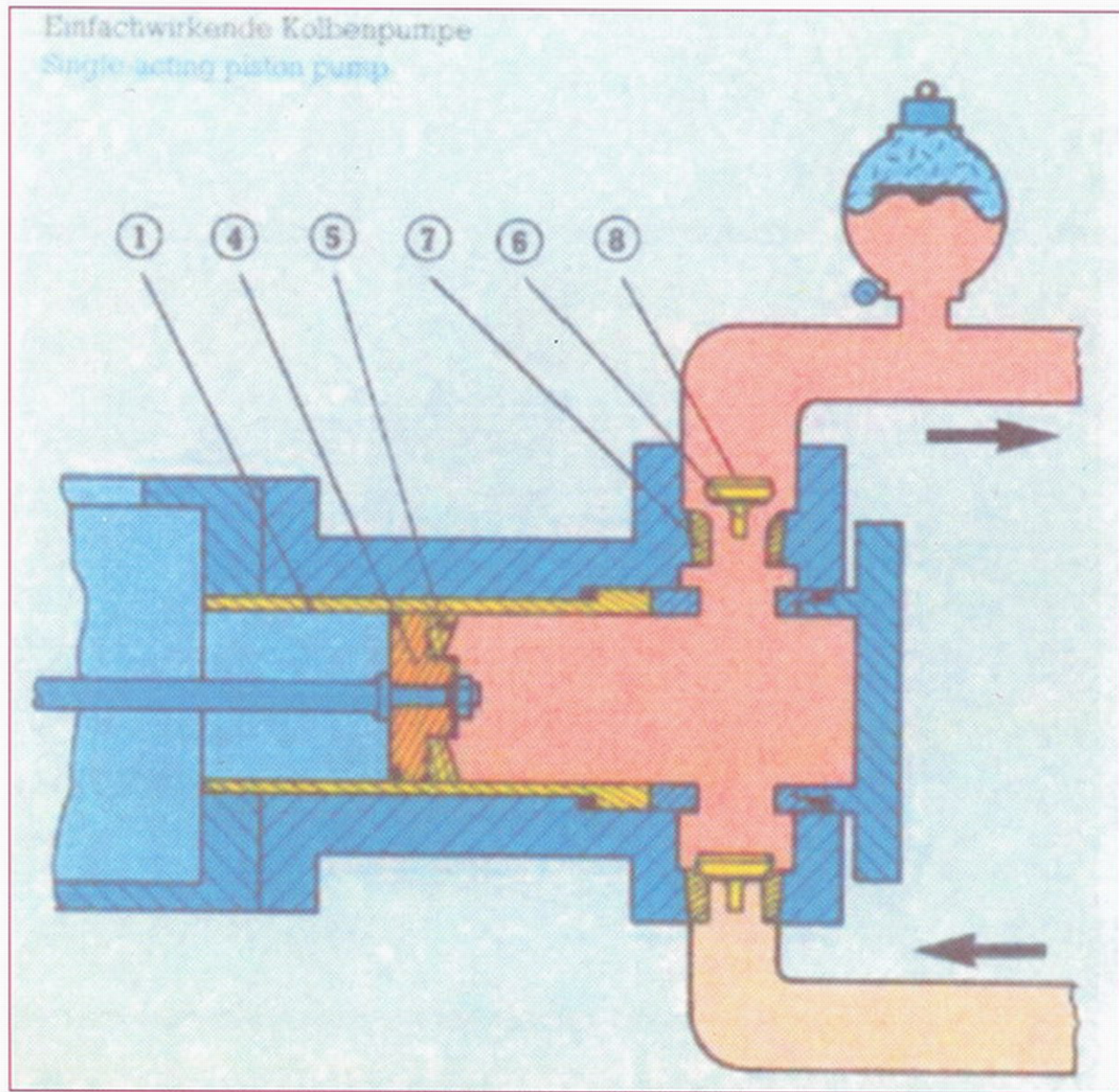
شکل ۱۰: یک پمپ Power پلانجری محوری از نوع Single Acting



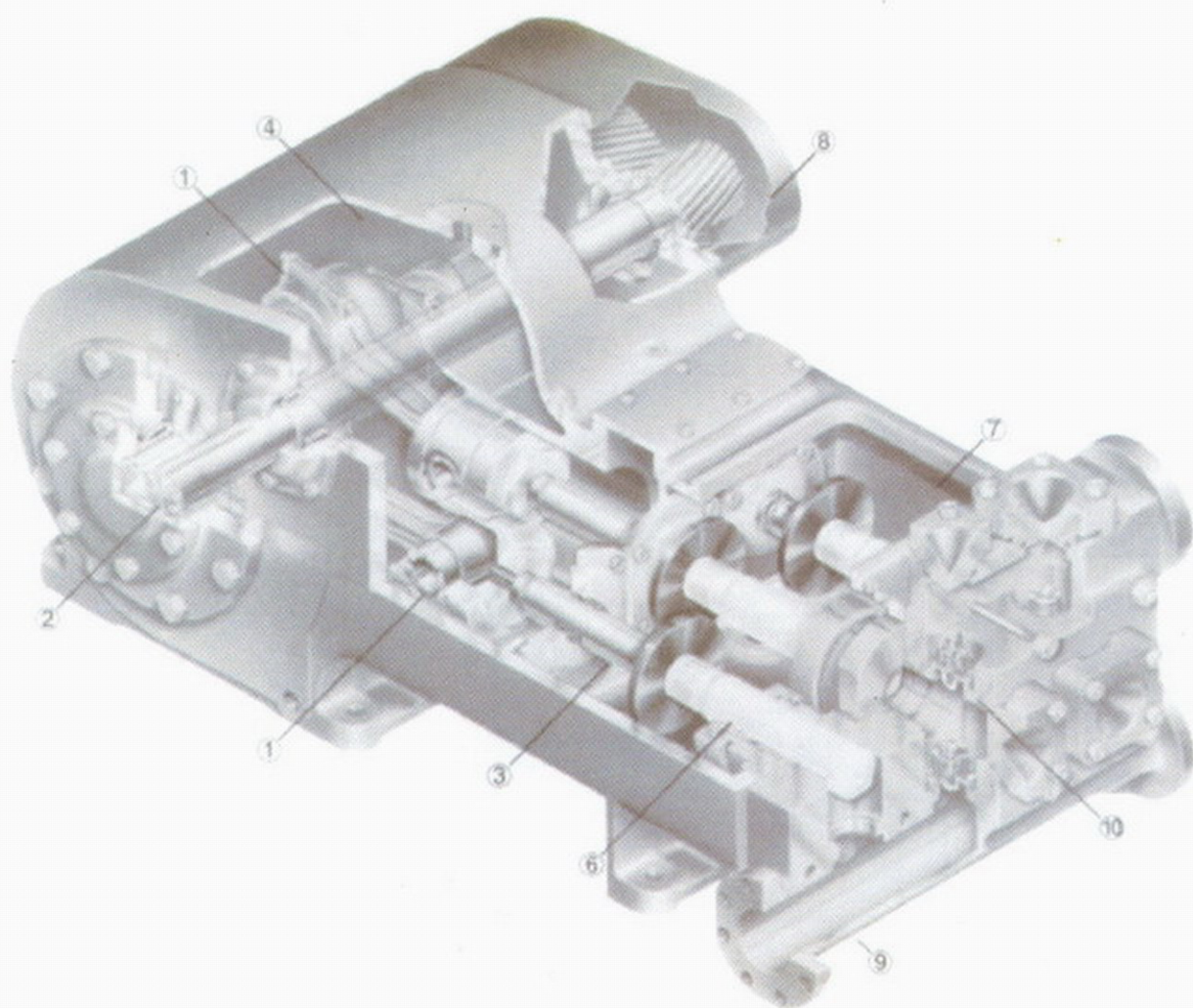


شکل ۱۱: یک پمپ Power پیستونی محوری از نوع Double Acting

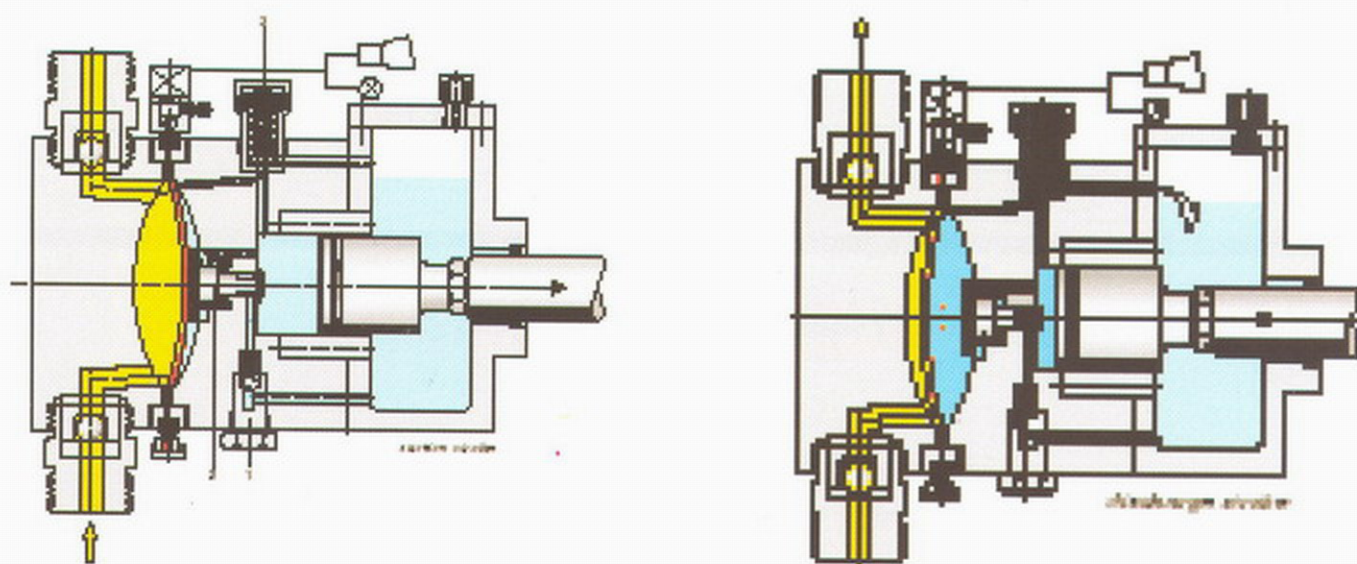
۳-۴- تقسیم بندی بر مبنای نوع المانی که حرکت رفت و برگشتی انجام می‌دهد



شکل ۱۲: پمپ رفت و برگشتی از نوع پیستونی



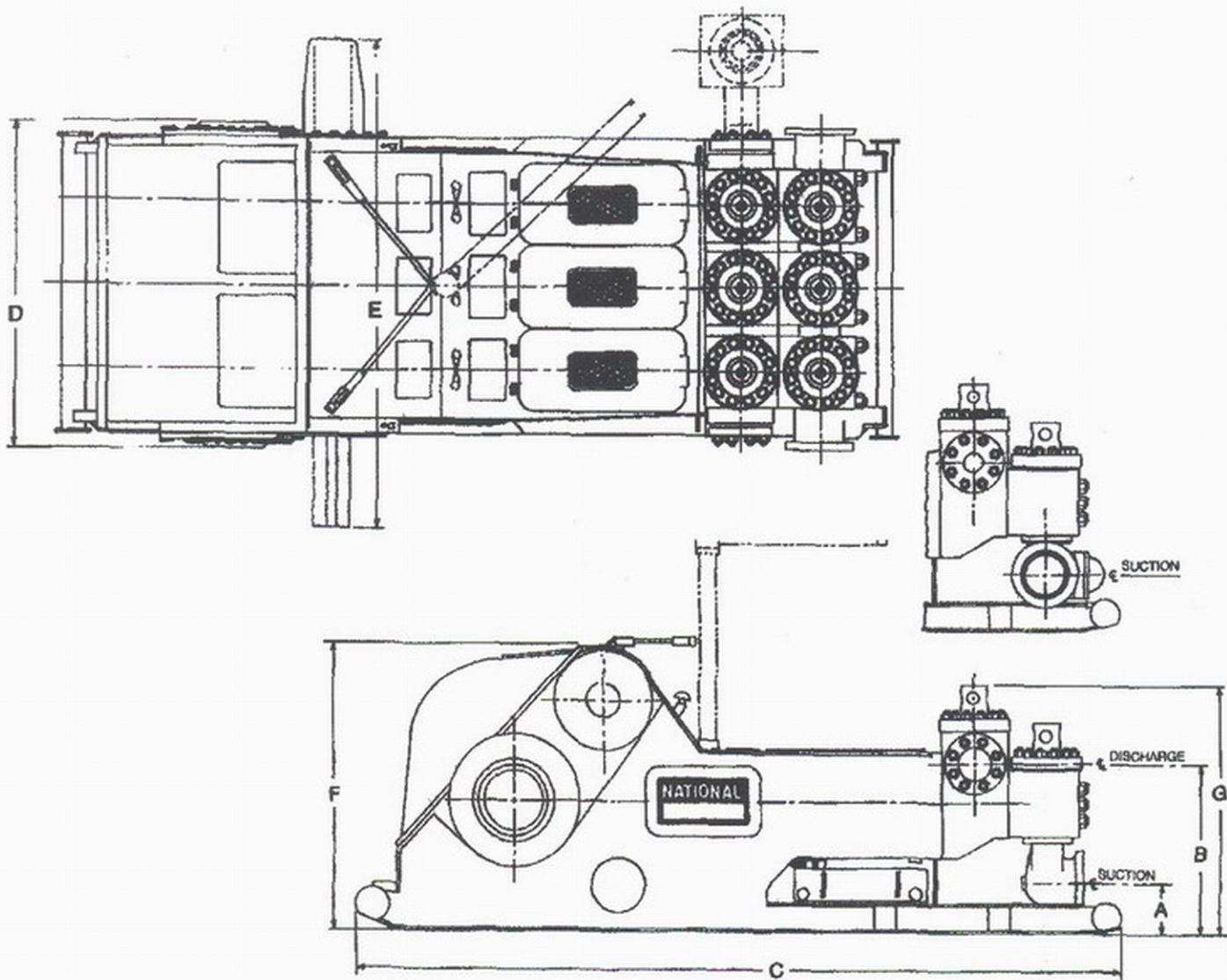
شکل ۱۳: پمپ رفت و برگشتی از نوع پلانجری



شکل ۱۴: پمپ رفت و برگشتی از نوع دیافراگمی

۴ - ۴ - تقسیم بندی بر مبنای تعداد پیستون

در صورتی که پمپ رفت و برگشتی دارای یک، دو و سه محور باشد به ترتیب از نوع Simplex، Duplex و Triplex خواهد بود که در شکل زیر یک پمپ رفت و برگشتی از نوع Triplex نمایش داده شده است.



شکل ۱۵: پمپ Power از نوع Triplex

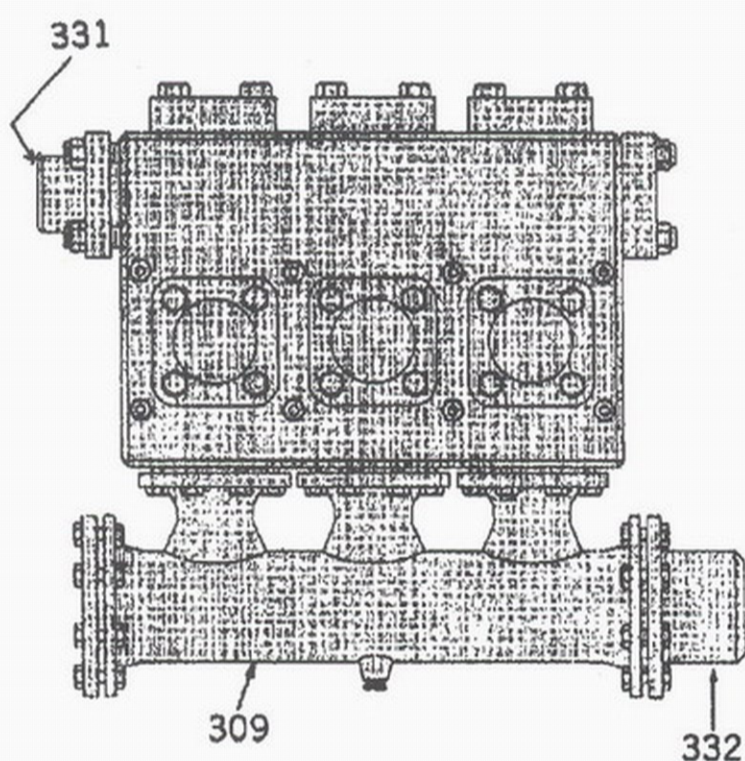
سه اینچ می باشد. برای یک پمپ Direct Acting نیز نوشتاری مشابه وجود دارد با این تفاوت که قطر پیستون محرک در ابتدای شماره اضافه میشود به عنوان مثال  $6 \times 4 \times 6$  دارای پیستون محرک برابر شش اینچ، پلانجر به قطر چهار اینچ و طول Stroke برابر شش اینچ می باشد.

۵ - اندازه پمپهای رفت و برگشتی

اندازه یک پمپ Power معمولاً به صورت حاصلضرب دو عدد که به ترتیب قطر پلانجر یا پیستون و طول Stroke میباشد نمایش داده می شود. به عنوان مثال در سیستم US پمپ پلانجر  $2 \times 3$  دارای قطر پلانجر دو اینچ و طول Stroke برابر

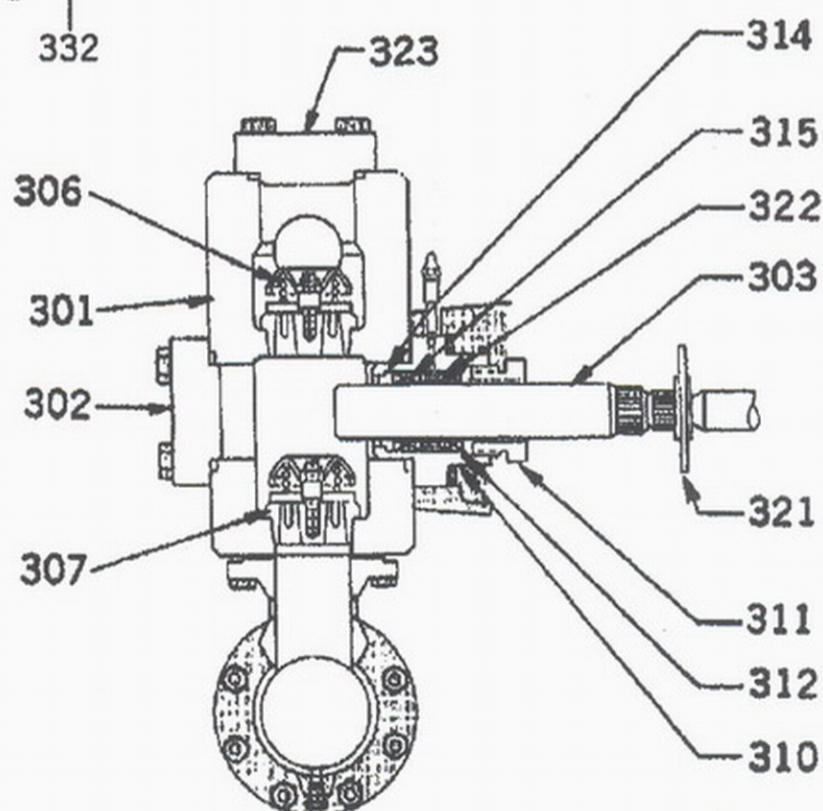
## ۶- بخشهای مختلف پمپهای Power

این پمپها شامل دو بخش کلی Liquid end و Power end می باشند که در ادامه به المانهای مختلف هر بخش اشاره می شود.



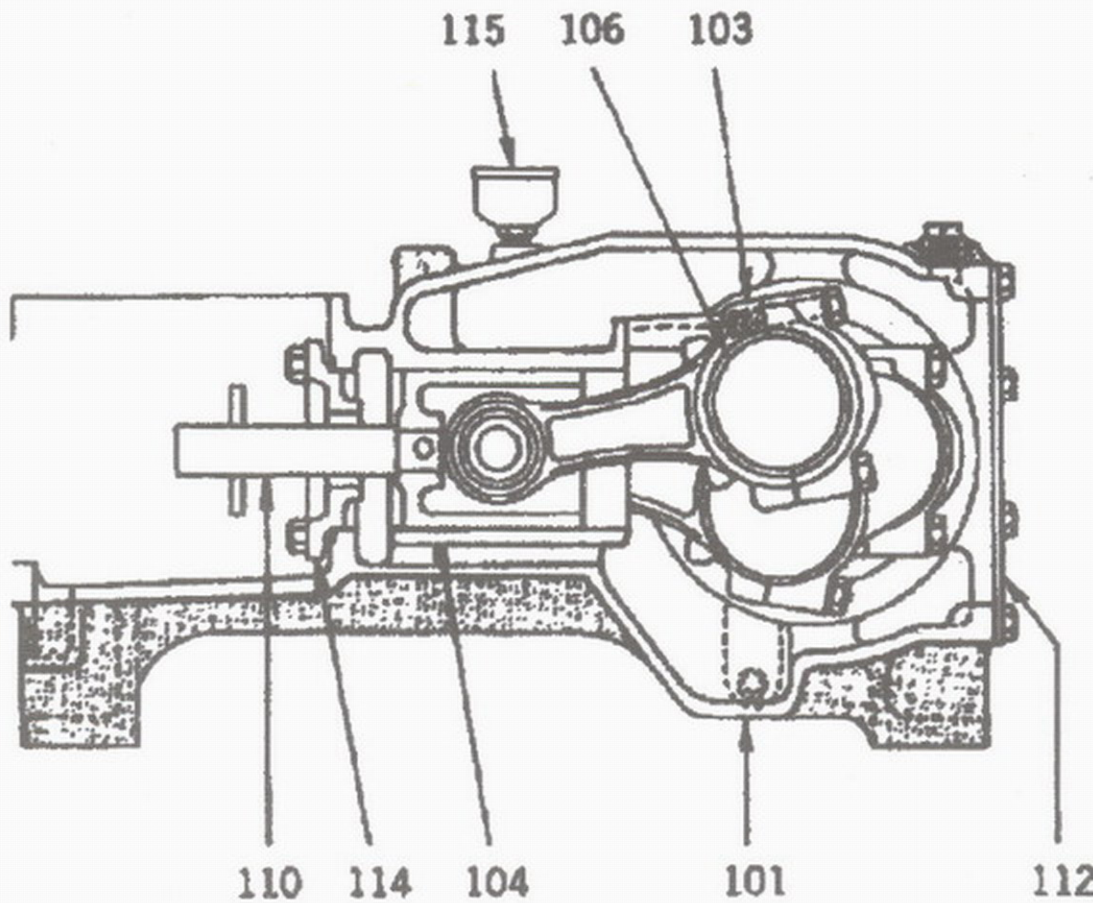
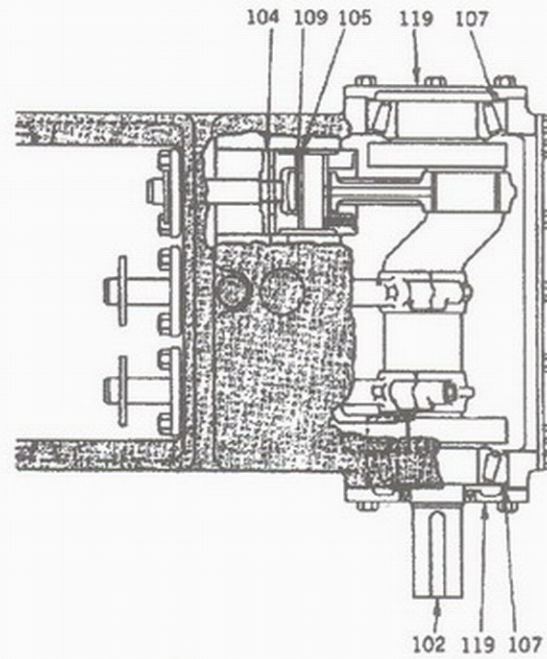
- 301 Cylinder, Liquid
- 302 Head, Liquid Cylinder
- 303 Plunger
- 304 Valve assembly, discharge
- 307 Valve assembly, suction
- 309 Manifold, suction
- 310 Box, Liquid stuffing
- 311 Gland, Liquid stuffing box
- 312 Ring, follower

- 314 Bushing, throat
- 315 Packing
- 321 Deflector
- 322 Ring, Lantern
- 323 Cover, Valve
- 331 Flange, discharge Companion
- 332 Flange, suction Companion



شکل ۱۶: Liquid End

- 101 Frame, power
- 102 Crankshaft
- 103 Rod, connecting
- 104 Crosshead, power
- 105 Pin, wrist
- 106 Bearing, crankpin
- 107 Bearing, main crankshaft
- 109 Bearing, wrist Pin
- 110 Extension, crosshead
- 112 Cover, crankcase
- 114 Box, wiper
- 115 Breather
- 119 Housing, crankshaft bearing



شکل ۱۷: Power End

#### ۱-۶ - بخش Liquid end

عموماً دارای فنر باز گرداننده می باشند. در این بخش علاوه بر شیرها المانهای دیگری نیز مانند سیلندر، پلانجر (پیستون)، Stuffing Box، منی فولد و کاور وجود دارد. در ادامه به شرح هر یک از این موارد پرداخته می شود.

این قسمت از پمپ، بخشی است که عمل پمپاژ توسط آن انجام می شود و دارای یک بخش مکش و یک بخش رانش می باشد. در این بخش ها شیرهای از نوع Check Valve وجود دارد که معمولاً با اختلاف فشار سیال باز و بسته می شود و

و Throat Bushing استفاده می‌شود که ایندو قسمت Packing را داخل Stuffing Box نگه می‌دارند. انواع مختلف Stuffing Box در شکل نمایش داده شده است. نوع جدید این جعبه‌ها، جعبه‌های دارای فنر می‌باشد که اخیراً توجه خاصی به آنها می‌شود. فنرهای مورد نظر معمولاً به همراه Packing های از نوع V استفاده می‌شود که در آنها نیروهای لازم که از طرف فنرها تامین می‌شود در مقایسه با نیروی ناشی از فشار سیال بسیار پائین تر می‌باشد. استفاده از فنر در جعبه‌های مورد نظر نتایج زیر را بدست می‌دهد:

- عدم نیاز به تنظیم Gland: این نتیجه موجب می‌شود یکی از عوامل موثر در عمر Packing که توانایی و مهارت کاربر بوده حذف شود.

- اجازه به انبساط: در صورت انبساط Packing در اثر اصطکاک، فنرها اجازه انبساط را به اجزای مورد نظر می‌دهند.
- اگر طراحی پمپ اجازه دهد نیازی به طراحی Gland نمی‌باشد.

اشکال عمده جعبه‌های دارای فنر این است که این نوع جعبه‌ها یک حفره به وجود می‌آورند و این حفره در جمع شدن و تراکم شدن بخارها تاثیر دارد همچنین این حفره موجب اضافه شدن یک بخش به Liquid Chamber می‌شود و اضافه شدن این حجم موجب کاهش راندمان حجمی (Volumetric efficiency) به خصوص در مورد سیالات تراکم پذیر می‌شود.

#### ۶-۱-۹ Packing

ماده‌ای است که برای آب بندی پلانجر، دسته پیستون و یا پیستون به کار می‌رود.

#### ۶-۱-۱۰ Gland

قسمتی که Packing را در داخل Stuffing Box نگه می‌دارد.

#### ۶-۱-۱۱ Lantern Ring

رینگی است که فضای لازم را برای روغنکاری مهیا می‌کند.

#### ۶-۱-۱۲ Valve Assembly

معمولاً شامل Seat، Valve، Spring و نگهدارنده فنر می‌باشد. این قسمت اجازه ورود و خروج سیال را به سیلندر می‌دهد. هر یک از محفظه‌های پمپ یک یا چند شیر مکش و رانش دارد.

#### ۶-۱-۱ Liquid Cylinder

اتاقکی است که در آن حرکت پلانجرها یا پیستونها به سیال منتقل می‌شود. این قسمت ممکن است به صورت یکپارچه با منیفولد مکش یا رانش بوده یا بصورت یک قسمت جداگانه باشد.

#### ۶-۱-۲ Cylinder Liner

یک Liner قابل تعویض است که داخل سیلندر پمپ پیستونی قرار می‌گیرد. پیستون در داخل Liner حرکت رفت و برگشتی انجام می‌دهد.

#### ۶-۱-۳ Manifolds

Suction Mainfold اتاقکی است که سیال را از قسمت مکش گرفته و به شیرهای مکش منتقل می‌کند و Discharge Mainfold اتاقکی است که سیال را از شیرهای رانش گرفته و به قسمت خروجی هدایت می‌کند.

#### ۶-۱-۴ Valve Chest Cover

یک پوشش برای شیرهای داخل سیلندر می‌باشد.

#### ۶-۱-۵ (Valve Deck) Valve Plate

یک صفحه که شیرهای مکش و رانش را شامل می‌شود.

#### ۶-۱-۶ Piston

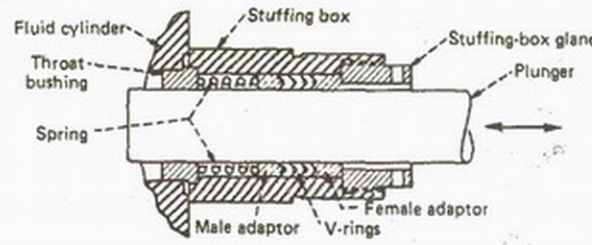
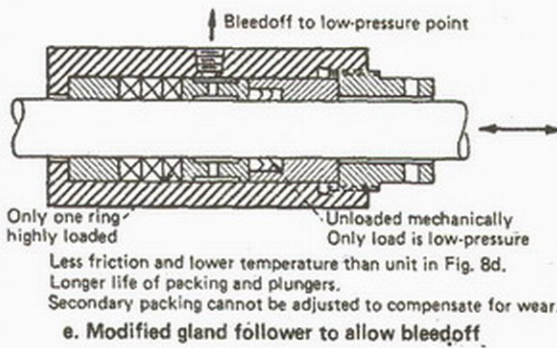
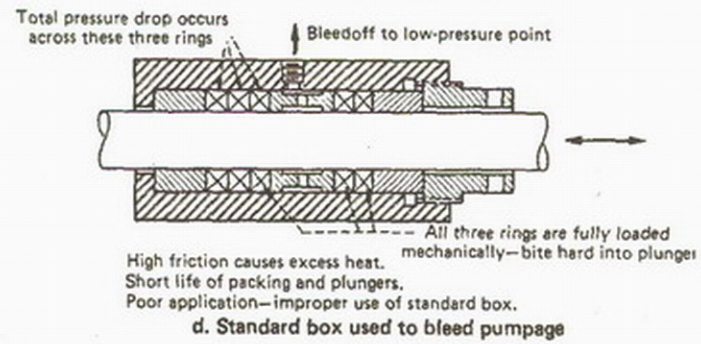
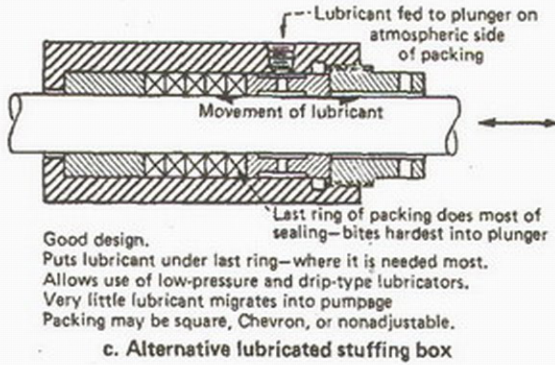
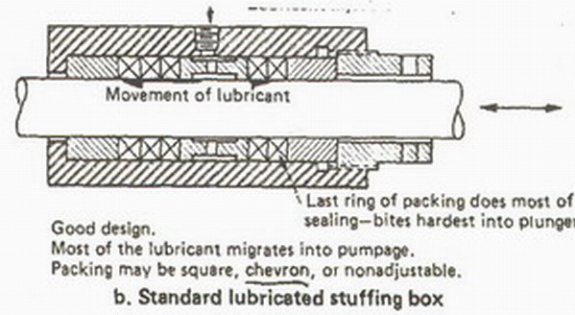
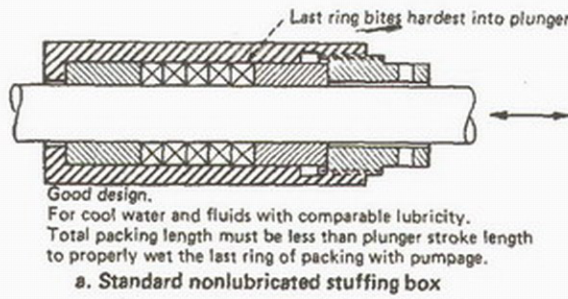
یک جسم استوانه‌ای که به یک میله رابط (Rod) متصل شده و توانایی اعمال فشار را به سیال در داخل سیلندر دارد. روی پیستون شیارهایی موجود می‌باشد که در داخل آنها رینگهای آب‌بندی قرار می‌گیرد.

#### ۶-۱-۷ Plunger

یک میله صاف که قابلیت نصب به Crosshead را داشته و می‌تواند فشار را به سیال در داخل سیلندر اعمال نماید. رینگهای آب‌بندی در پلانجر ثابت بوده و پلانجر در داخل آنها حرکت می‌کند.

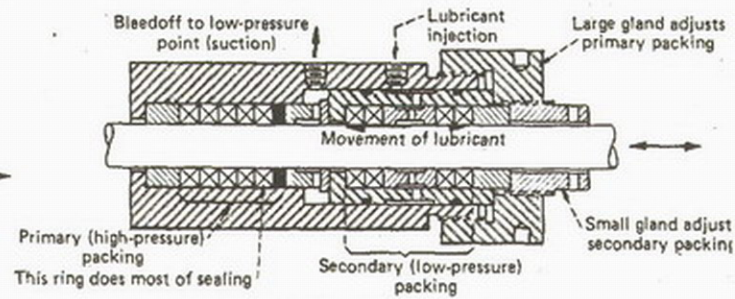
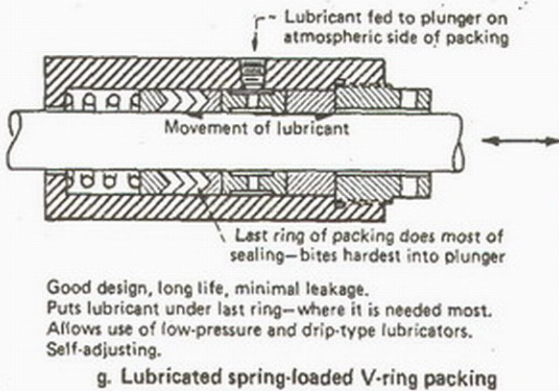
#### ۶-۱-۸ Stuffing Box

این جعبه دارای تجهیزاتی جهت آب‌بندی پمپ می‌باشد و دارای انواع روانکاری شده و غیر روانکاری شده می‌باشد. برای حرکت درست رفت و برگشتی پلانجر از رینگهای پیرو



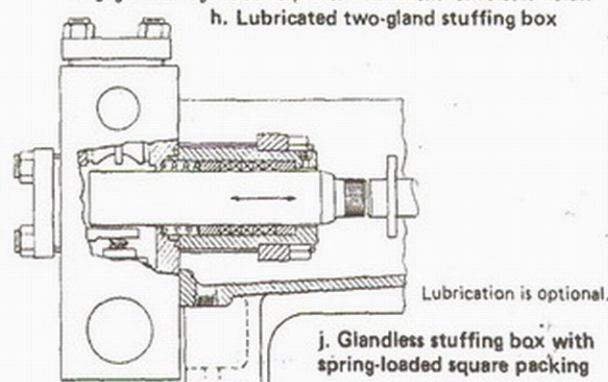
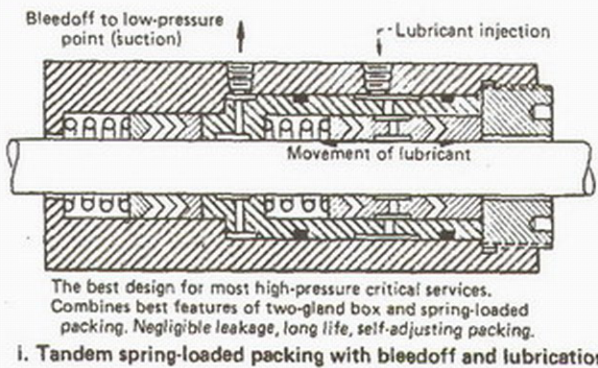
Minimal leakage. Normally limited to intermittent duty. Self-adjusting.

**f. Nonlubricated, spring-loaded V-ring packing**



The old standard for high-pressure, critical.  
Provides independent adjustment of primary and secondary packing. (Proper adjustment requires skilled mechanic.)  
Full-size secondary packing.  
Positive packing lubrication. Long packing and plunger life.  
Negligible leakage to atmosphere. Excellent for volatile fluids.

**h. Lubricated two-gland stuffing box**



شکل ۱۸: انواع Stuffing Box

### ۶-۲-۸ - Frame Extention

هنگامیکه Liquid End مستقیماً به پوسته پیچ نمی‌شود Frame Extention آنرا به Power Frame متصل می‌سازد. در صورتیکه Frame Extention افقی باشد Cradle نامیده می‌شود.

### ۷- تعاریف

در ادامه به تعاریف مربوط به این پمپها پرداخته میشود.

#### ۷-۱- کورس (Stroke)(L)

مقدار مسافتی که پیستون یا پلانجر در یک جهت می‌پیماید یک کورس نامیده می‌شود. طول کورس به اینچ یا میلی‌متر بیان می‌گردد.

#### ۷-۲- دبی پمپ (Pump Capacity)(Q)

مقدار جریان واقعی که به ازای واحد زمان از Discharge خارج می‌شود. فرض می‌شود که هیچ گازی در شرایط کاری موجود نباشد.

#### ۷-۳- سرعت (Speed)(n)

تعداد دوری که میل لنگ در واحد زمان می‌زند و برحسب rpm بیان می‌گردد.

#### ۷-۴- جابجایی پمپ (D)

#### (Pump Displacement)

میزان جابجایی در پمپهای رفت و برگشتی برابر کل حجم جاروب شده توسط تمامی پیستونها یا پلانجرها در واحد زمان می‌باشد. در پمپهای Double Acting برای محاسبه میزان جابجایی باید حجم مربوط به دسته پیستون کسر شود. لذا خواهیم داشت:

$$(US Units) D = \frac{AL nM}{231}$$

$$(Metric Units) D = \frac{AL nM}{16.7 \times 10^6}$$

و برای پمپهای Double Acting بدون Tail Rod(s)

$$(US Units) D = \frac{(2A - a) LnM}{231}$$

$$(Metric Units) D = \frac{(2A - a) LnM}{16.7 \times 10^6}$$

### ۶-۲ - بخش Power end

آن قسمت از پمپ می‌باشد که حرکت چرخشی را به حرکت رفت و برگشتی شاتونها و لغزنده تبدیل می‌کند.

#### ۶-۲-۱ - Power Frame

قسمتی از Power End می‌باشد که شامل میل لنگ، میله‌های رابط، لغزنده و بیرینگها می‌باشد. Power Frame ممکن است یکپارچه بوده و یا شامل هر دو قسمت بالایی و پایینی باشد.

#### ۶-۲-۲ - Crank Shaft

محوری پله‌ای است که توان و حرکت را به میله‌های رابط منتقل می‌کند. بیرینگهای اصلی و شاتون روی این عضو سوار می‌شوند.

#### ۶-۲-۳ - Main Bearing

بیرینگها میل لنگ را مهار می‌کنند. بیرینگهای اصلی میل لنگ می‌تواند از نوع Sleeve Type یا Rolling Contact باشد که در دو انتهای شفت یا در جای مناسبی برای تحمل بار قرار می‌گیرند که این بارها حاصل از حرکت پلانجر برای جابجایی سیال می‌باشند.

#### ۶-۲-۴ - Connecting Rod

حرکت را از میل لنگ به لغزنده منتقل می‌کند. انتقال توان موجب تحت کشش یا فشار قرار گرفتن این عضو می‌گردد.

#### ۶-۲-۵ - Crankpin Bearing

بار ارتعاشی حاصل از حرکت رفت و برگشتی شاتون را به میل لنگ منتقل می‌کند.

#### ۶-۲-۶ - Wrist Pin

شاتون را به Crosshead متصل می‌کند.

#### ۶-۲-۷ - Crosshead Extention

#### (Plunger Extention)

Crosshead را به پلانجر متصل می‌کند.



که:

A: سطح مقطع پیستون یا پلانجر است

a: سطح مقطع دسته پیستون

L: طول کورس

n: دور میل لنگ (rpm)

M: تعداد پیستون یا پلانجر

### ۷-۸- فشار کل مکش ( $P_s$ )

#### (Total Suction Pressure)

فشار کل مکش برابر مجموع جبری فشار نسبی، فشار ناشی از سرعت (دینامیک) و فشار ناشی از ارتفاع نصب در قسمت مکش پمپ می باشد.

$$(US \text{ Units}) P_s = P_{gs} + \frac{\left[ \frac{V^2}{2g} + Z_s \right] S}{2.31} \text{ psi}$$

$$(Metric \text{ Units}) P_s = P_{gs} + \frac{\left[ \frac{V^2}{2g} + Z_s \right] S}{0.102} \text{ kpa}$$

### ۷-۵- لغزش ( $S$ ) (Slip)

لغزش پمپ رفت و برگشتی میزان تلفات دبی می باشد که به صورت کسر یا درصدی از جابجایی پمپ بیان می گردد و از نشتی بر اثر جریان برگشتی در شیرها بر اثر تاخیر در بسته شدن شیر و یا در پیستونهای پمپهای Double Acting ناشی می شود. لغزش شامل تراکم پذیری سیال و نشتی از Liquid End نمی شود.

که S چگالی نسبی می باشد. فشار ناشی از سرعت، در نقطه ای که فشار سنج نصب شده اندازه گیری می گردد.

ارتفاع نصب Z، با توجه به مبنای تعیین شده مشخص می شود و هنگامیکه بالای مبنا قرار گیرد مثبت بوده و هنگامیکه پایین آن قرار گیرد منفی خواهد بود.

### ۷-۶- سرعت پلانجر یا پیستون ( $V$ )

#### (Plunger or Piston Speed)

سرعت متوسط پیستون یا پلانجر به صورت زیر تعریف می شود و بر حسب ft/min یا m/sec بیان می گردد.

$$(US \text{ Units}) V = \frac{nL}{360} \text{ ft/min}$$

$$(Metric \text{ Units}) V = \frac{nL}{30,000} \text{ m/sec}$$

### ۷-۹- تفاضل فشار نهایی ( $P_H$ )

#### (Total Differential Pressure)

افزایش فشار سیال توسط پمپ در نتیجه اختلاف فشار بین مکش و رانش می باشد:

$$P_H = P_d - P_s$$

### ۷-۷- فشار کل رانش ( $P_d$ )

#### (Total Discharge Pressure)

برابر مجموع جبری فشار نسبی، فشار ناشی از سرعت (دینامیک) و فشار ناشی از ارتفاع نصب که در قسمت رانش پمپ اندازه گیری شده است:

$$(US \text{ Units}) P_d = P_{gd} + \frac{\left[ \frac{V^2}{2g} + Z_d \right] S}{2.31} \text{ psi}$$

$$(Metric \text{ Units}) P_d = P_{gd} + \frac{\left[ \frac{V^2}{2g} + Z_d \right] S}{0.102} \text{ kpa}$$

### ۷-۱۰- فشار ارتفاع نصب ( $P_z$ )

#### (Elevation Pressure)

انرژی پتانسیل حاصل سطح سیال نسبت به مبنا که به صورت فشار معادل آن بیان می گردد.

### ۷-۱۱- ارتفاع نصب ( $Z$ )

#### (Elevation Head)

فاصله عمودی محور فشارسنج یا سطح سیال از مبنا را ارتفاع نصب می گویند.

درصد بیان می‌گردد:

$$\eta_v = \frac{Q}{D} \times 100$$

### ۷-۱۸- ارتفاع مکش مثبت خالص در دسترس

(NPSHA)

NPSHA برابر کل فشار مکش سیستم در دهانه مکش پمپ، منهای فشار بخار سیال در دمای کاری سیال، افت هدشتابی، افت اصطکاکی و نوسانات فشار ناشی از تشدید صوتی می‌باشد. NPSHA برای پمپهای رفت و برگشتی معمولاً برحسب  $Lb/in^2$  یا  $\frac{N}{mm^2}$  بیان می‌گردد.

### ۷-۱۹- ارتفاع مکش مثبت خالص مورد نیاز

(NPSHR)

مقدار فشار مکش مورد نیاز که بالاتر از فشار بخار سیال بوده و راندمان حجمی مناسبی را تامین نماید. همچنین افت دبی نباید بیشتر از ۳٪ باشد.

### ۷-۲۰- هد شتابی (h<sub>acc</sub>)

فشار لازم برای شتاب دادن به ستون سیال که تابعی از طول خط مکش، سرعت متوسط در آن، سرعت چرخشی، نوع پمپ، الاستیسیته نسبی سیال و لوله می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$(US\ Units)\ h_{acc} = \frac{1vnC}{Kg}$$

$$or\ P_{acc} = \frac{1vnCs}{23\ Kg}$$

که:

h<sub>acc</sub>: ارتفاع شتابی (Acceleration Head) به فوت یا متر

P<sub>acc</sub>: فشار شتابی به Psi

l: طول خط مکش به فوت یا متر

v: سرعت در خط مکش به (m/s)ft/s

### ۷-۱۲- فشار ناشی از سرعت (P<sub>v</sub>)

(Velocity Pressure)

این فشار، فشار هیدرولیکی لازم برای به حرکت در آوردن سیال از سکون تا سرعت متوسط می‌باشد.

### ۷-۱۳- اتلاف فشار اصطکاکی (P<sub>f</sub>)

(Friction Loss Pressure)

میزان تلفات انرژی فشاری سیال ناشی از اصطکاک در لوله‌ها و اتصالات می‌باشد.

### ۷-۱۴- توان ورودی پمپ (P<sub>p</sub>)

توان مکانیکی روی شفت در شرایط خاص کاری می‌باشد.

### ۷-۱۵- توان خروجی پمپ (P<sub>w</sub>)

توان اعمال شده به سیال توسط پمپ می‌باشد. این توان Water Horsepower یا Liquid Horsepower نیز نامیده می‌شود.

$$(US\ Units)\ P_w = \frac{Q \times P_H}{1714}$$

$$(Metric\ Units)\ P_w = \frac{Q \times P_H}{3600}$$

### ۷-۱۶- راندمان پمپ (η<sub>p</sub>)

(همچنین راندمان مکانیکی پمپ نامیده می‌شود)

نسبت بین توان خروجی پمپ به توان ورودی پمپ که به صورت درصد بیان می‌گردد.

$$\eta_p = \frac{P_w}{P_p} \times 100$$

### ۷-۱۷- راندمان حجمی

(η<sub>v</sub>) (Volumetric Efficiency)

نسبت بین دبی خروجی پمپ به جابجایی که به صورت

n: سرعت پمپ بر حسب rpm

C: ثابت مطابق جدول زیر

	Double-Acting	Single-Acting
Simplex	0.628	0.200
Duplex	0.200	0.115
Triplex	0.066	0.066
Quantuplex	0.040	0.040
Septuplex	0.028	0.028
Nonuplex	0.022	0.022

K: ثابت مربوط به تراکم پذیری نسبی سیال

(K=1.4 for water , K=2.5 for hot oil)

g: ثابت گرانشی 32.3 ft/s<sup>2</sup>

متوسط سرعت در لوله 4 in :

$$V_4 = \frac{0.321 \times 73}{12.73} = 1.84 \text{ fps} \quad \left[ V = \frac{Q}{A} \right]$$

متوسط سرعت در لوله 6 in :

$$V_6 = \frac{0.321 \times 73}{28.89} = 0.8110 \text{ fps}$$

هدشتابی در لوله 4 in :

$$h_{acc4} = \frac{4 \times 1.84 \times 360 \times 0.066}{1.4 \times 32.2} = 3.88 \text{ ft}$$

هدشتابی در لوله 6 in :

$$h_{acc6} = \frac{20 \times 0.811 \times 360 \times 0.066}{1.4 \times 32.2} = 8.55 \text{ ft}$$

کل هدشتابی:

$$h_{acc} = 3.88 + 8.55 = 12.4 \text{ ft}$$

$$P_{acc} = \frac{h_{acc} S}{2.31} = \frac{12.4 \times 1.0}{2.31} = 5.38 \text{ Psi}$$

توجه: این محاسبات یک تخمین درباره افت هدشتابی در لوله‌های به طول حداکثر ۵۰ فوت می‌باشد.

اگر یک دمپر به طور مناسب روی پمپ نصب شود و در اندازه‌های کوچک، یک اتصال تمام اندازه به پمپ یا لوله‌های مکش نصب گردد می‌تواند تغییرات پرودیک جریان را جذب کرده و نوسانات فشار با فرکانس کم را در خطوط مکش کاهش دهد. اگر به درستی شارژ انجام شود این کار برای خطوط لوله‌ای با طول ۵ تا ۱۵ برابر قطر لوله مناسب می‌باشد. در قسمت رانش نیز نوسانات فشاری مشابهی وجود دارد اما به دلیل تاثیر فشار روی الاستیسیته لوله و سیال، قطر کمتر لوله و طول زیادتر خطوط نمی‌تواند به سادگی مورد تحلیل قرار گیرد و همانند قسمت مکش برای جذب ارتعاشات ناحیه رانش نیز می‌توان از دمپر استفاده نمود بخصوص اگر ارتعاشات لوله و نوسانات فشاری مساله ساز باشد.

نوسانات فشاری که در نتیجه تشدید صوتی بوجود می‌آید را می‌توان با اضافه کردن فیلترها و یا صفحات Orifice کاهش داد. اندازه و موقعیت صحیح قرار دادن آنها یکی از مباحث آنالیز صوتی سیستم پمپ می‌باشد. در ادامه نمونه محاسبات برای محاسبه هدشتابی یک پمپ Triplex آمده است.

مثال: یک پمپ Triplex 2" x 5" در دور ۳۶۰ rpm با دبی ۷۳ gpm با آب کار کرده و دارای خطوط مکش لوله به طول ۴ ft و قطر ۴ inch و طول ۲۰ ft و قطر ۶ in می‌باشد:

## AN INTRODUCTION TO MUD PUMPS

Preface	5
1-Introuction	5
2-Mud Pumps	5
3-Reasons for using reciprocating pumps & their applications	7
4-reciprocating pumps classification	8
5- The size of reciprocating pumps	12
6- The description of components for reciprocating power pumps	13
7-Definitions	17

## PREFACE

Energy and its transmission have the most important role in industrial and economical development and due to great resources of oil and gas in our country it seems to be economical to plan for exploitation of these energies. Planning for export of such energies needs its especial equipments for extraction, refining and distribution.

Although using oil and gas and development of petrochemical industries has got long history in our country, there is no suitable and updated technology to help this industry.

One of the basic works in the exploitation of oil and gas energies is drilling and one of the most significant elements of drilling systems is mud pump. Vital role of mud pumps in pumping mud into the drill bits has made it necessary to understand its system and different parts.

The aim of present study is to introduce reciprocating pumps which are used as mud pump in the drilling systems.

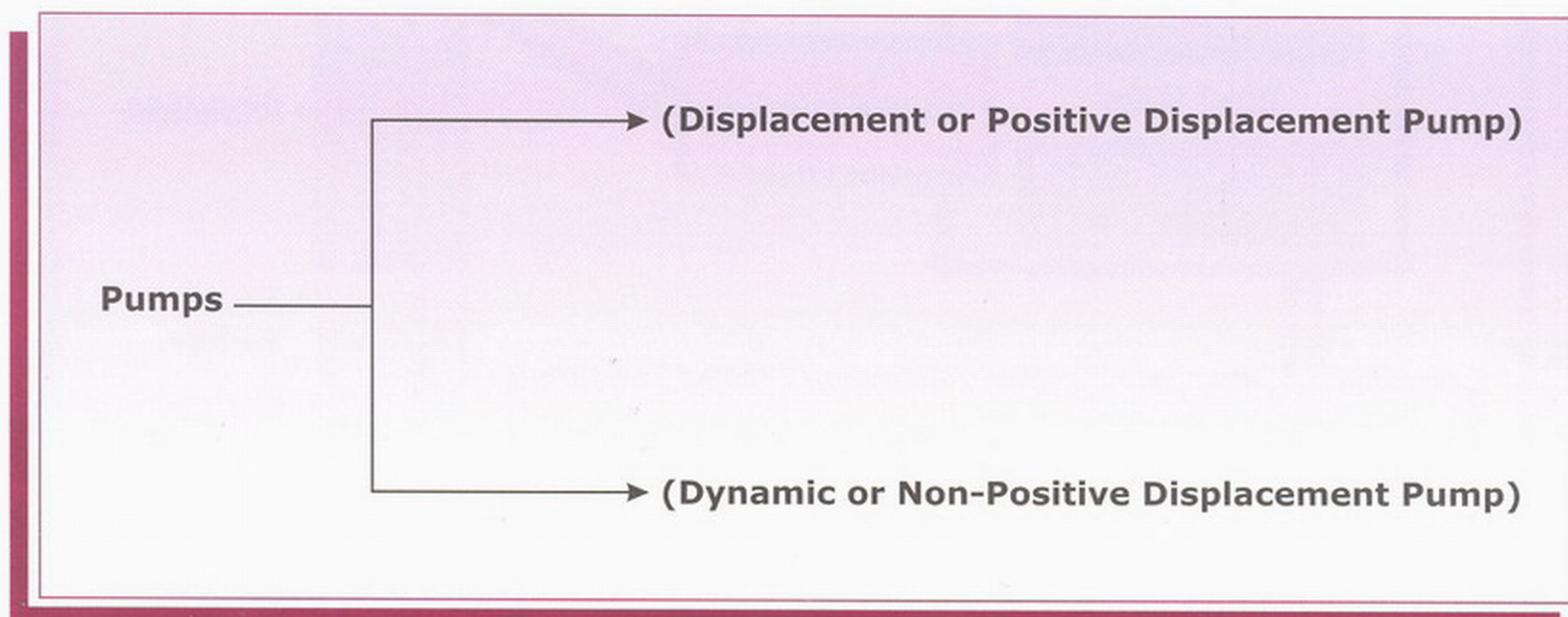
## 1-INTRODUCTION

Pumps may be classified on the basis of the application they serve, the materials from which they are constructed, the liquids they handle, and even their orientation in space. All such classifications, however, are limited in scope and tend to substantially overlap each other.

A more basic system of classification which defines the principle, by which energy is added to the fluid, goes on to identify the means by which this principle is implemented. Under this system, all pumps may be divided into two major categories of displacement pumps or positive displacement pumps and dynamic

## 2-MUD PUMPS

In the drilling systems mud is used for cutting transport and cooling the drill bits and is injected into the drill bits by a pump which is called mud pump. Mud pumps sucks mud from the mud pits and pumps it to the drilling apparatus. Mud return line returns mud from the hole to the mud pits. Mud circulation system has been shown in figure 2.



**Fig.1 Classification of pumps**

Most of the mud pumps are reciprocating pump which is a positive displacement pump. Reciprocating pump traps a fixed volume of the liquid at near suction conditions, compresses it to discharge pressure, and pushes it out the discharge nozzle.

In a reciprocating pump, this is accomplished by the reciprocating motion of a piston, plunger or diaphragm.

A reciprocating pump is not a kinetic machine as is a centrifugal pump, and does not require velocity to achieve pressure. High pressures can be obtained at low velocities.

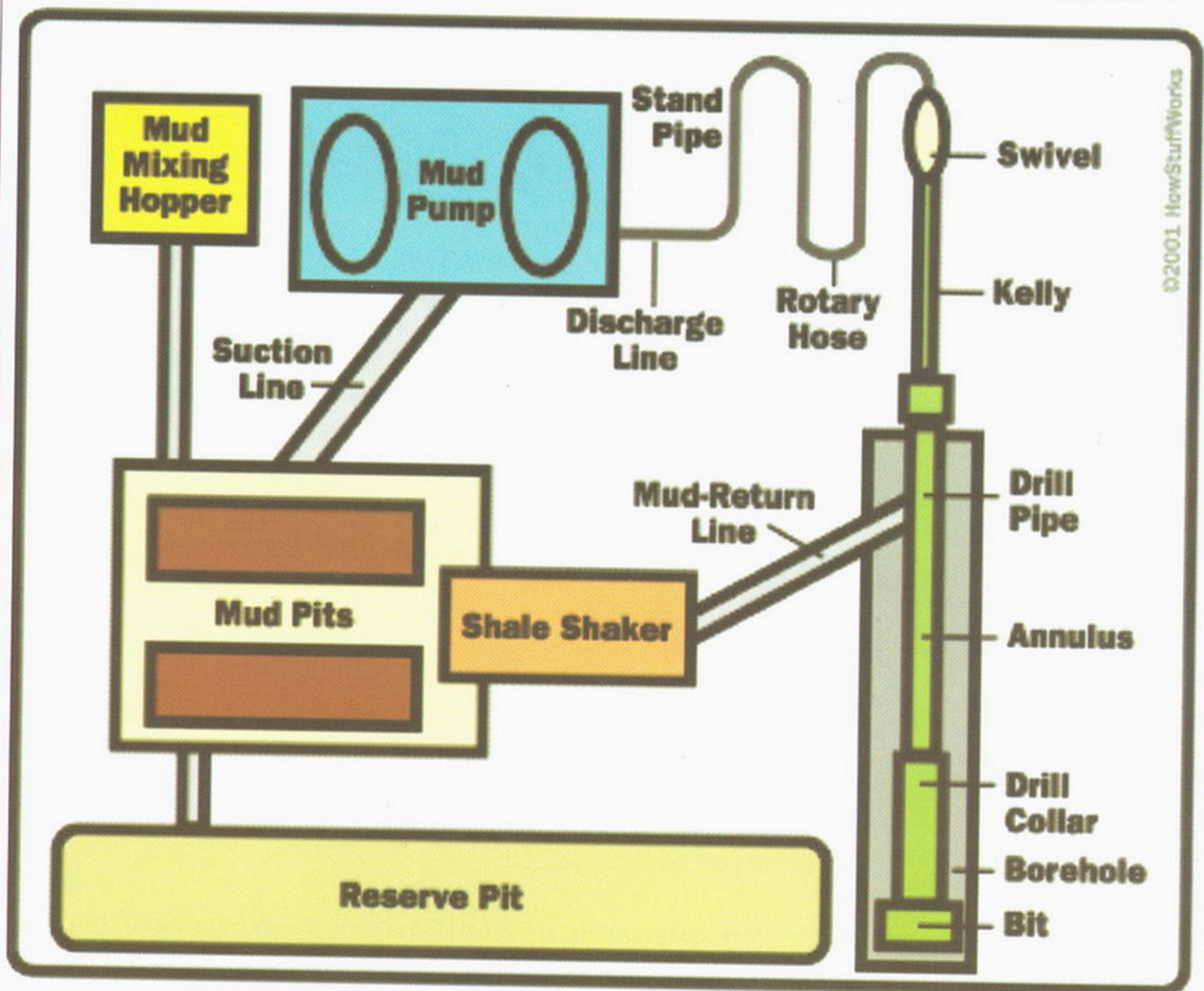
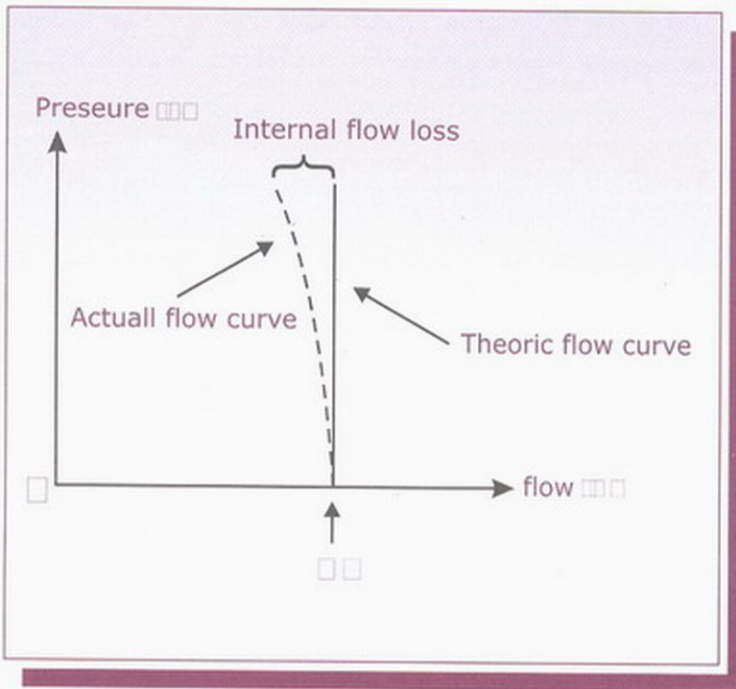
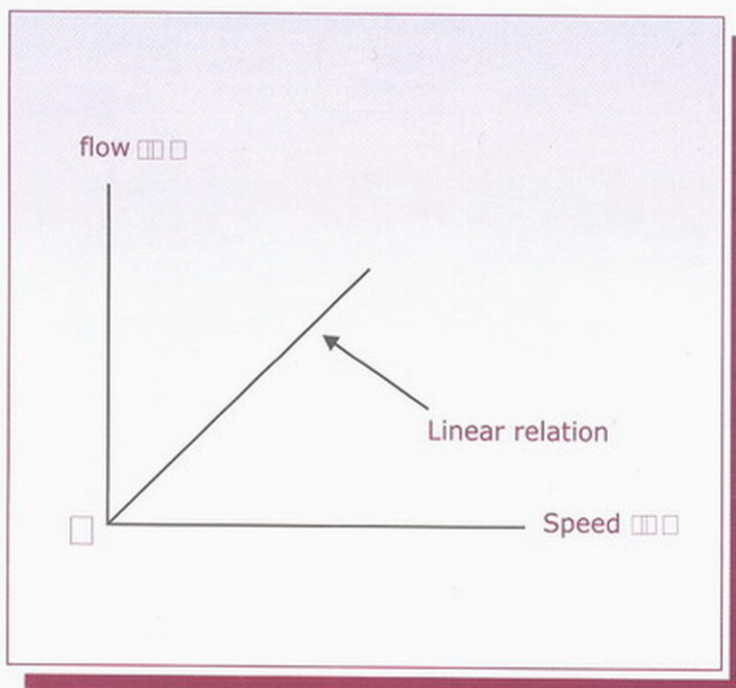


Fig. 2: Drill-mud circulation system

Following figures depicts flow and pressure curves of reciprocating pumps.



**Fig. 3: Pressure-Flow curve**



**Fig. 4: Flow-Speed curve**

### 3-REASONS FOR USING RECIPROCATING PUMPS & THEIR APPLICATIONS

The justification for selecting a reciprocating pump instead of a centrifugal or rotary must be cost not just the initial cost but total cost, including costs for power and maintenance. Some applications are inherently best suited for reciprocating units. Such services include:

- 1 High-Pressure Water Cleaning (20gpm at 10,000psig)
- 2 Glycol Injection (5gpm at 1,000 psig)
- 3 Ammonia Charging (40gpm at 4,000 psig)

Another application that practically mandates a reciprocating unit is abrasive and/or viscous slurries above about 500 psig. The best feature of the power pump is its high efficiency. Overall efficiencies normally range from 85 to 94 %. The loss of approximately 10 % includes all those due to belts, gears, bearings, packing and valves.

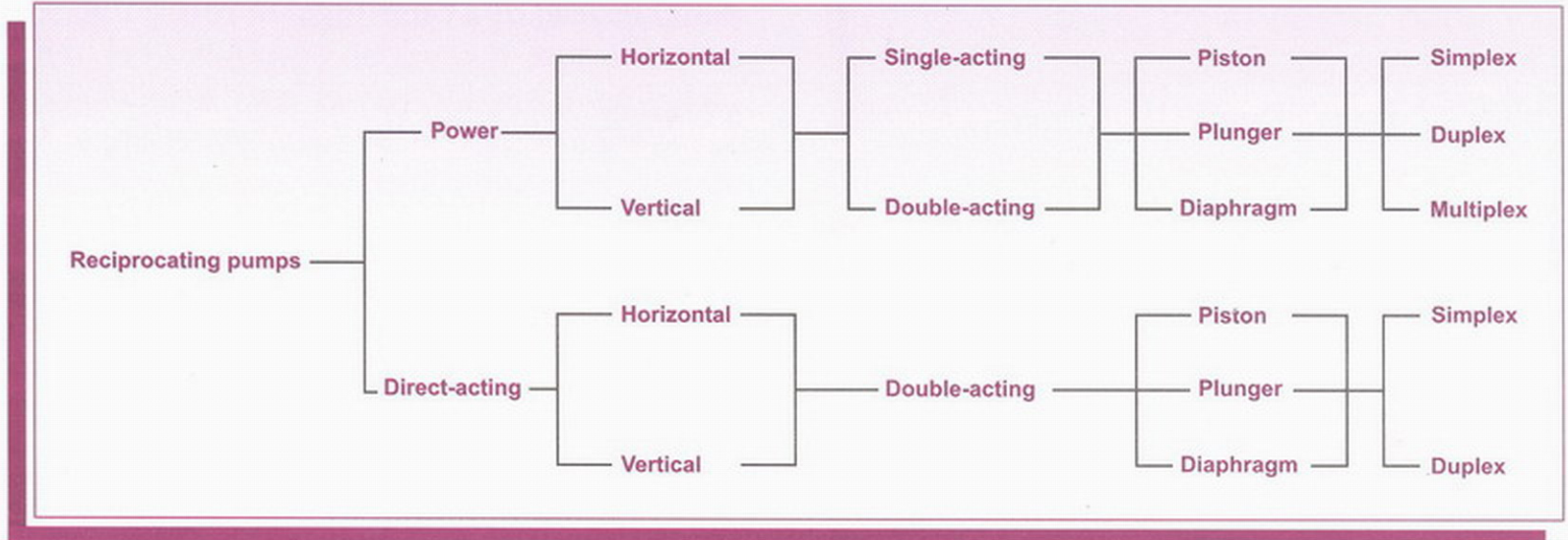
Another characteristic of the reciprocating pump is that capacity is a function of speed, and is relatively independent of discharge pressure. Therefore, a constant-speed power pump that moves 100 gpm at 500 psig will handle very nearly 100 gpm at 3,000 psig.

The direct-acting pump has some of the same advantages as the Power pump, plus others. These units are well suited for high-pressure low flow applications. Discharge pressures normally range from 300 to 5,000 psig, but may exceed 10,000 psig. Capacity is proportional to speed from stall to maximum speed, regardless of the discharge pressure.

Direct-acting pumps are negligibly affected by hostile environments such as corrosive fumes, because of the absence of a bearing housing, crankcase, or oil reservoir (except for units requiring a lubricator). Direct-acting pumps are quiet, simple to maintain, and their low speeds and rugged construction lead to a very long life.

## 4-RECIPROCATING PUMP'S CLASSIFICATION

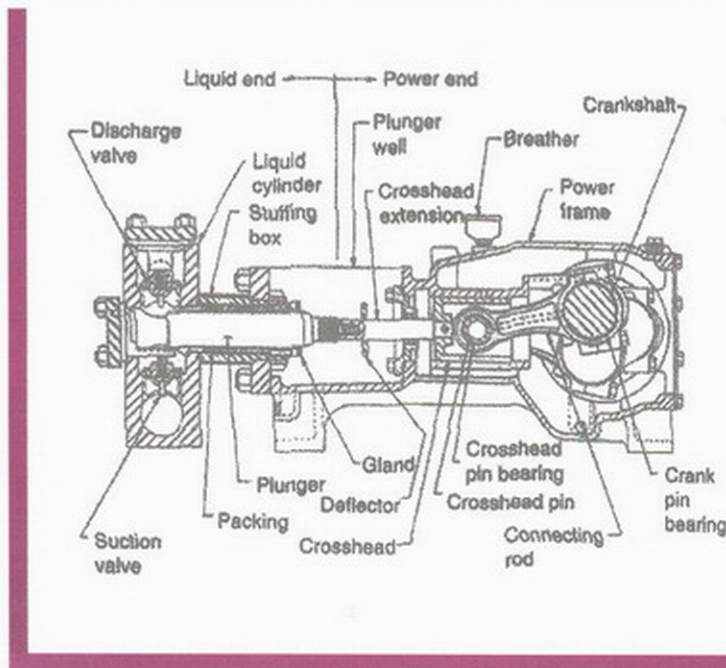
Figure 5 depicts the classification of reciprocating pumps.



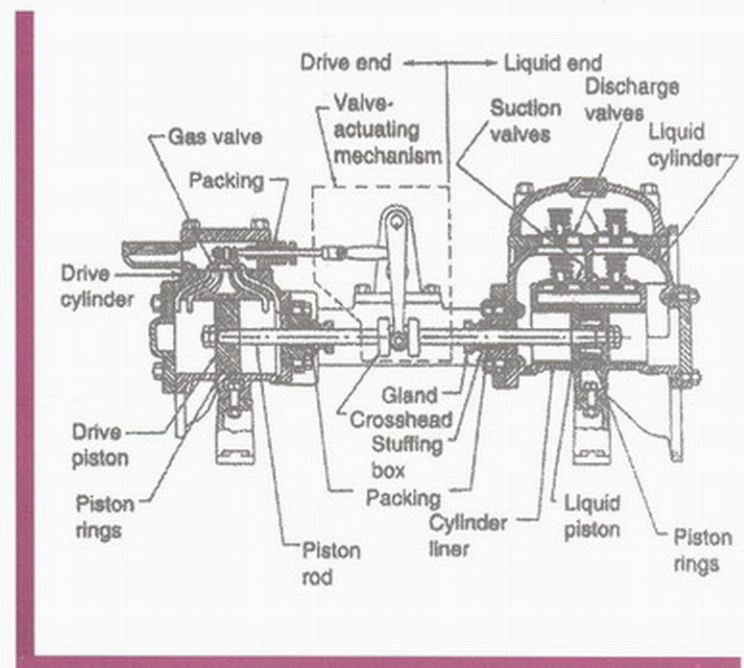
**Fig. 5: Classification of reciprocating pumps**

As shown in figure 5 the reciprocating pumps are divided into two main classes which are reciprocating power pumps and reciprocating

direct-acting pumps. Cross sectional view and components of these pumps are shown in the following figures.



**Fig. 6: Reciprocating power pump**



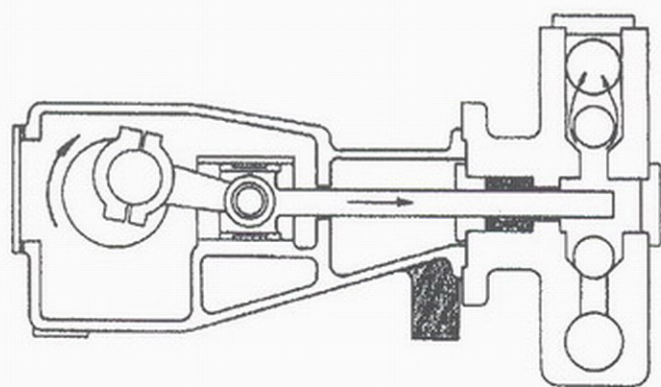
**Fig.7: Reciprocating Direct-acting pump**



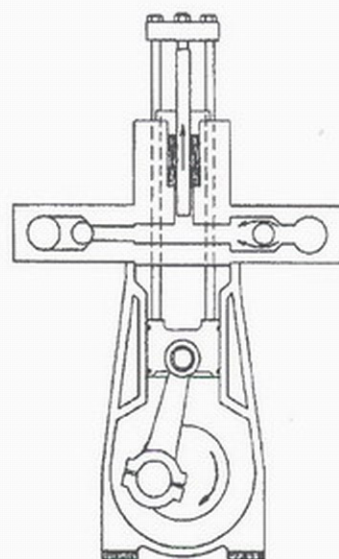
In the reciprocating power pumps the rotating motion of the crankshaft is converted to a reciprocating motion through connecting rods and crossheads while a motive fluid by means of a differential pressure derives the direct-acting pumps. Reciprocating pumps are classified by the orientation of axial centerline of pumping

element ( Horizontal , Vertical ) , number of discharge strokes per cycle of each drive rod (Single-acting, Double-acting), Configuration of the pumping element (Piston, Plunger, Diaphragm) and the number of drive rods (Simplex, Duplex, Multiplex). These classifications are shown in the following figures.

**4-1- Classification by the orientation of axial centerline of pumping element**

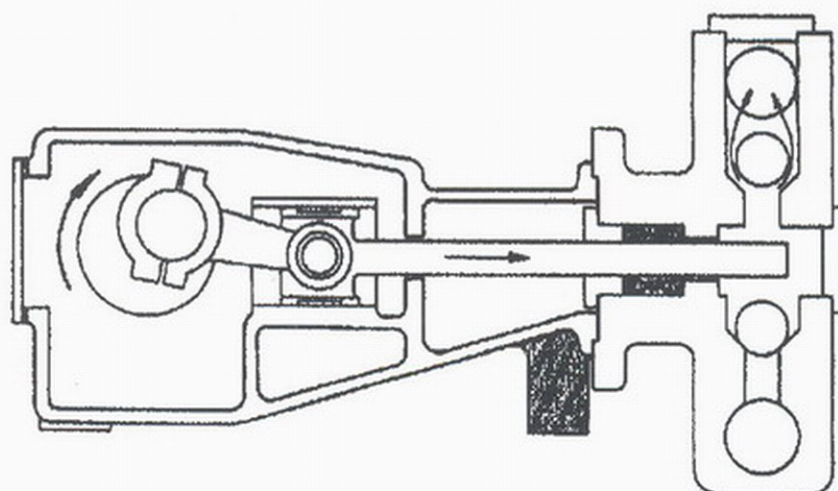


**Fig. 8: Horizontal single-acting plunger power pump**



**Fig. 9: Vertical single-acting plunger power pump**

**4-2- Classification by the number of discharge strokes per cycle of each drive rod**



**Fig. 10: Horizontal single-acting plunger power pump**

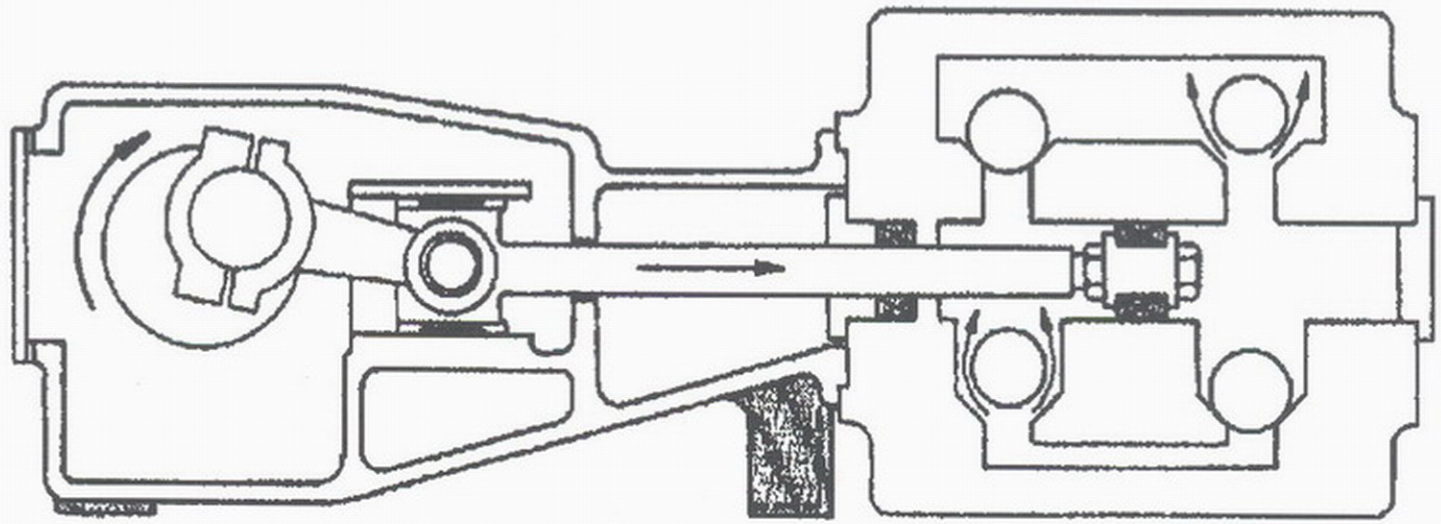


Fig. 11: Horizontal double-acting piston power pump

4-3- Classification by the configuration of the pumping element

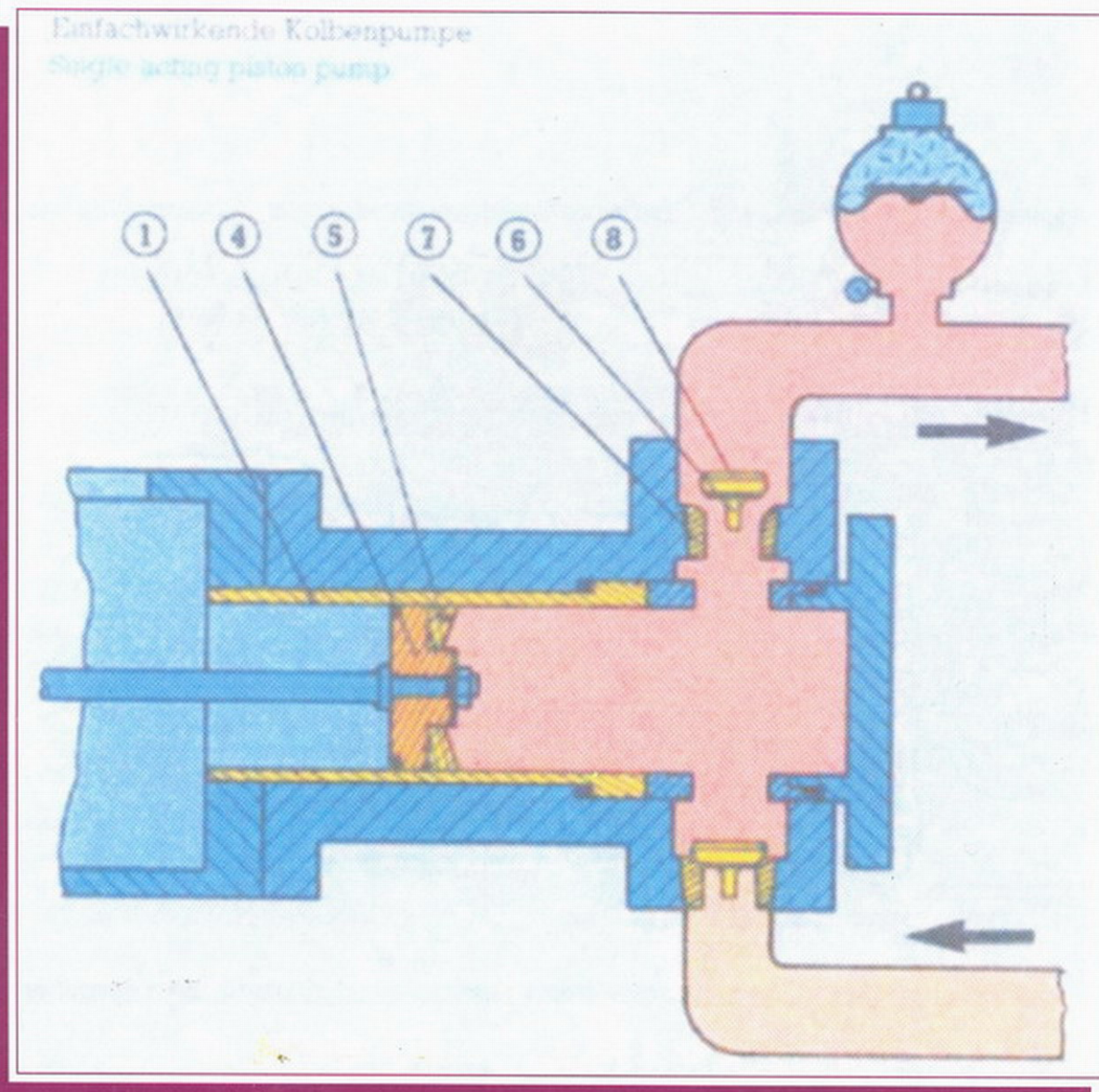
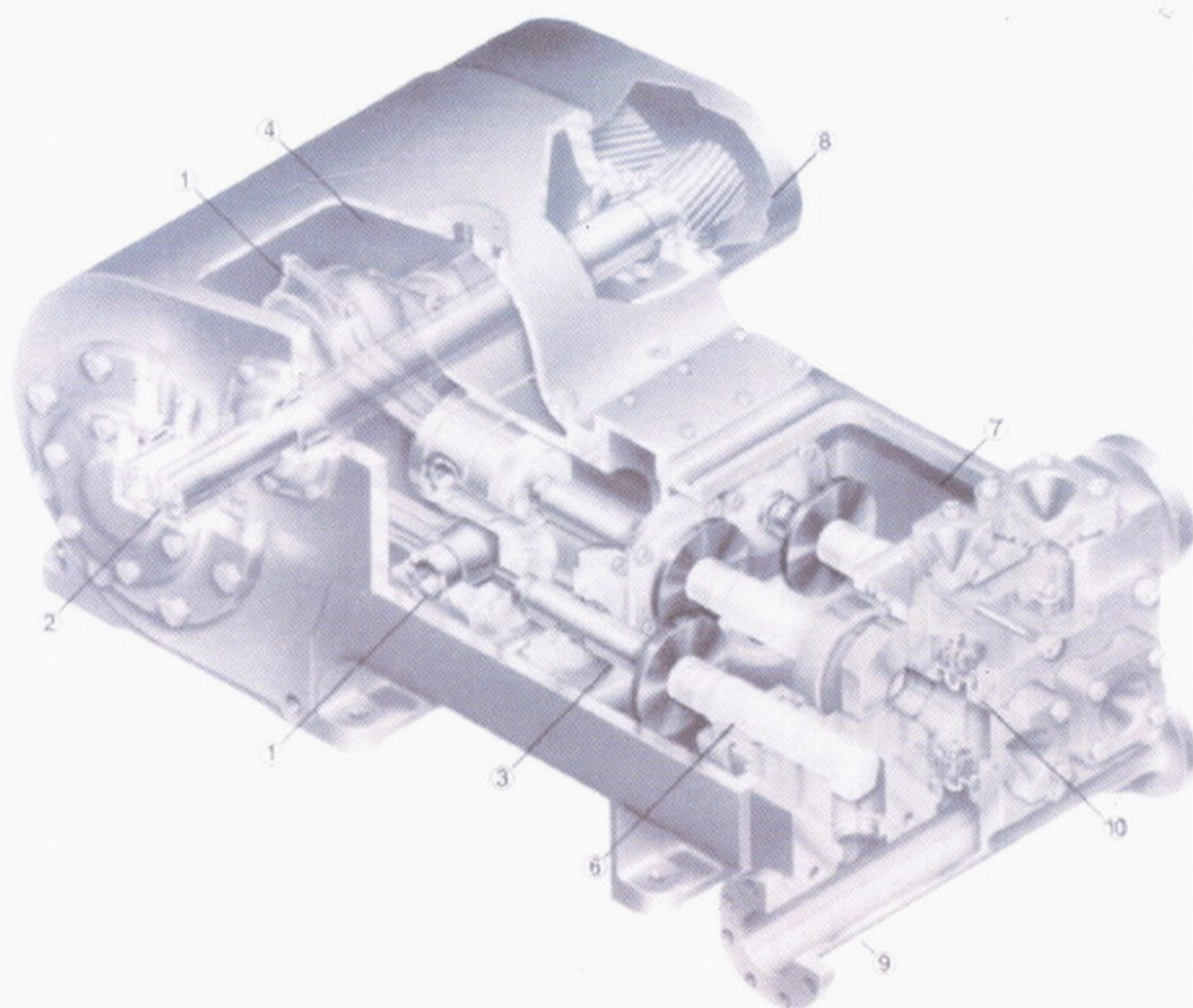
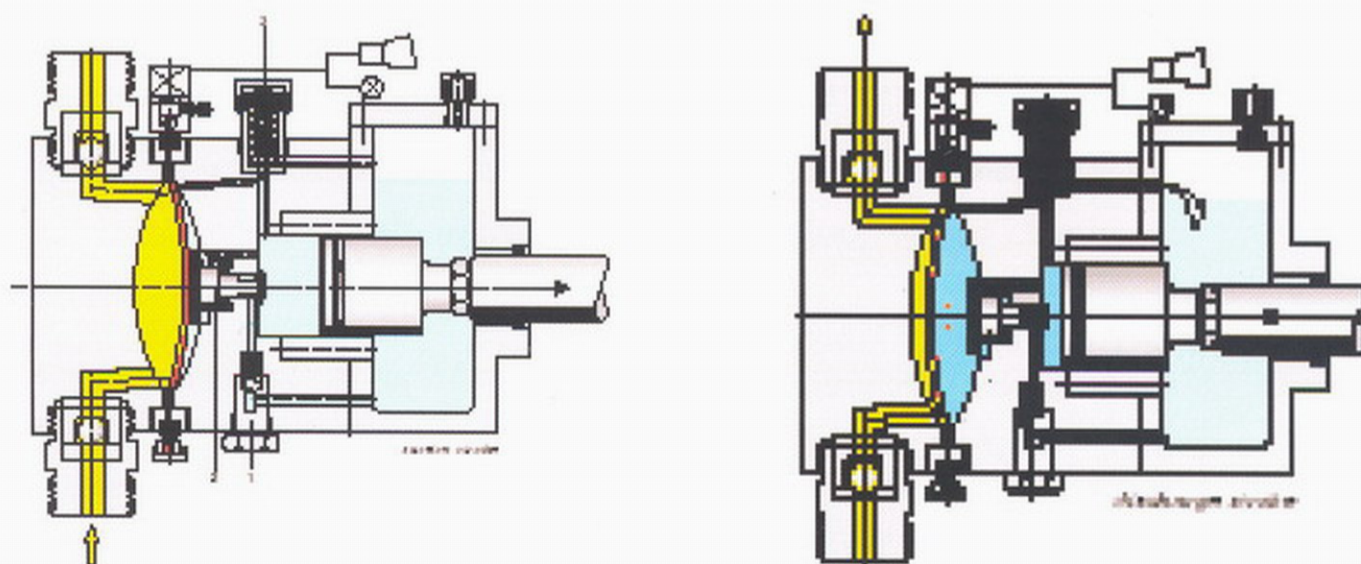


Fig. 12: Reciprocating piston pump



**Fig. 13: Reciprocating plunger pump**

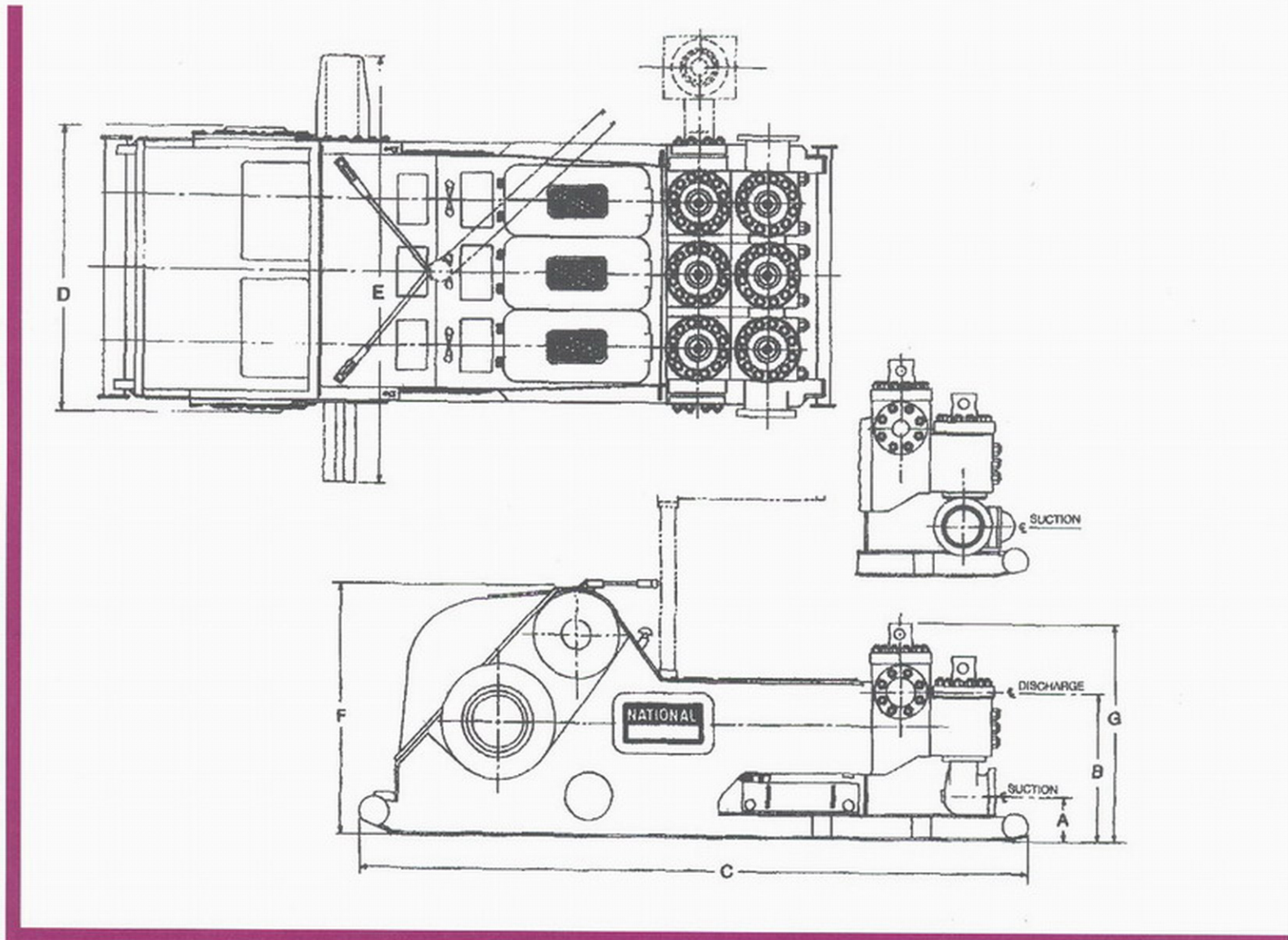


**Fig. 14: Reciprocating diaphragm pump**

**4-4- Classification by the number of drive rods**

The simplex, duplex and multiplex are the other classification of the reciprocating power pumps based on the number of drive rods. Simplex,

duplex and multiplex reciprocating power pumps have one, two and three drive rods respectively. Figure 15 shows a triplex reciprocating power pump.



**Fig. 15: Reciprocating triplex power pump**

**5-THE SIZE OF RECIPROCATING PUMPS**

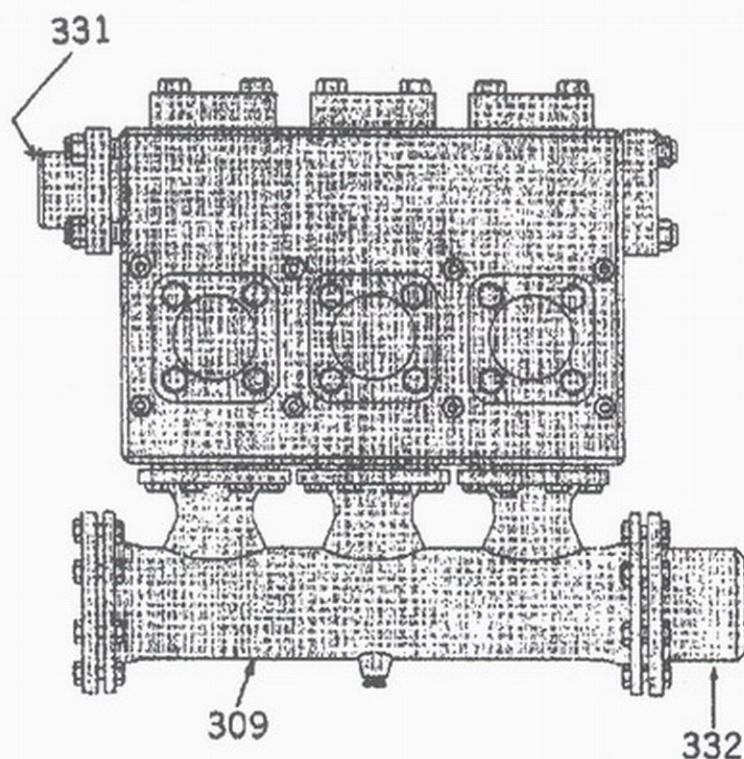
The size of a power pump is normally designated by listing first the diameter of the plunger (or the piston), and second the length of the stroke. In the U.S., the units are inches. For example, a pump designated as 2x3 has a plunger Diameter of 2 in. and a stroke length of 3 in. For a direct-acting pump, the same convention is

followed, except that the diameter of the drive piston precedes the liquid-end-element diameter.

For example, a pump designated 6 x 4 x 6 has a drive-piston diameter of 6 in., a liquid-piston diameter of 4 in. and a stroke length of 6 in.

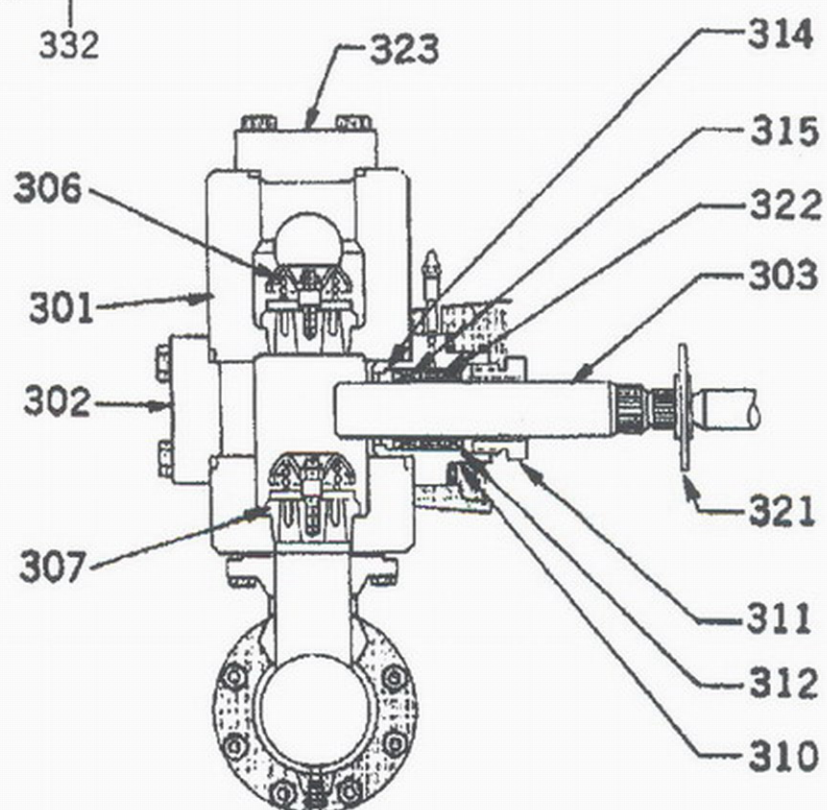
## 6-THE DESCRIPTION OF COMPONENTS FOR RECIPROCATING POWER PUMPS

The reciprocating power pumps have two major parts which are drive end and liquid end.



- 301 Cylinder, Liquid
- 302 Head, Liquid Cylinder
- 303 Plunger
- 304 Valve assembly, discharge
- 307 Valve assembly, suction
- 309 Manifold, suction
- 310 Box, Liquid stuffing
- 311 Gland, Liquid stuffing box
- 312 Ring, follower

- 314 Bushing, throat
- 315 Packing
- 321 Deflector
- 322 Ring, Lantern
- 323 Cover, Valve
- 331 Flange, discharge Companion
- 332 Flange, suction Companion



**Fig. 16: Liquid end**

- 101 Frame, power
- 102 Crankshaft
- 103 Rod, connecting
- 104 Crosshead, power
- 105 Pin, wrist
- 106 Bearing, crankpin
- 107 Bearing, main crankshaft
- 109 Bearing, wrist Pin
- 110 Extension, crosshead
- 112 Cover, crankcase
- 114 Box, wiper
- 115 Breather
- 119 Housing, crankshaft bearing

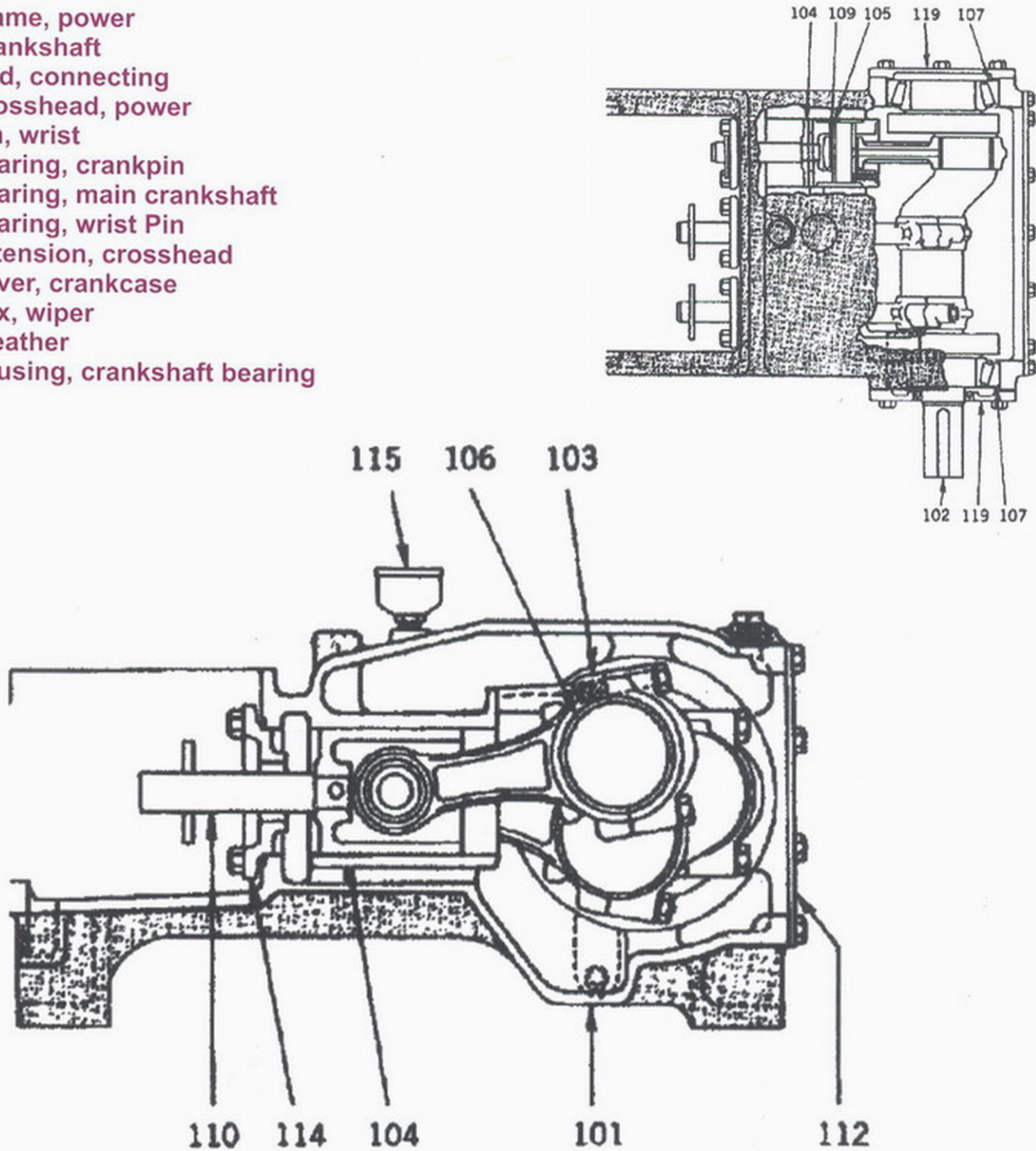


Fig. 15: Power end

### 6-1- Liquid end parts

The liquid end is that portion of the pump that does the pumping and consists of suction and discharge parts. In these parts the valves are simply check valves that are opened by the liquid differential pressure. Most valves are

spring loaded. This part also contains stuffing box, manifold, cover and pumping element like piston, plunger or diaphragm. The following paragraphs describe liquid end components.

### 6-1-1- Liquid cylinder

Liquid cylinder is a chamber(s) in which the motion of the plunger(s) or piston(s) is (are) imparted to the liquid. The cylinder can be made integral with suction and discharge manifold or can be made with separate manifolds.

### 6-1-2- Cylinder liner

Cylinder liner is a replaceable liner which is placed in the cylinder of a piston pump. The piston reciprocates within the liner.

### 6-1-3- Manifolds

Suction manifold is a chamber which accepts liquid from the suction port(s) and distributes it to the suction valves and discharge manifold is a chamber which accepts liquid from the individual discharge valves and directs it to the discharge port(s).

### 6-1-4- Valve chest cover

A valve chest cover is a cover for the valves within the cylinder.

### 6-1-5- Valve plate (Valve deck)

A valve plate is a plate that contains the suction or discharge valves.

### 6-1-6- Piston

A piston is a cylindrical body which is attachable to a rod and is capable of exerting pressure upon a liquid within the liquid cylinder. A piston usually has grooves for containing rings which seal against the cylinder or cylinder liner.

### 6-1-7- Plunger

A plunger is a smooth rod which is attachable to a crosshead and is capable of exerting pressure upon a liquid within the liquid cylinder. Sealing rings for a plunger are stationary, the plunger sliding within the rings.

### 6-1-8- Stuffing box

Stuffing box is used to minimize the leakage of the pump and includes standard lubricated and non-lubricated types which are shown in figure

18. A follower ring and throat bushing are used to guide the plunger or rod as it reciprocates. The throat bushing and follower ring contain the packing within the stuffing box.

The most significant advance in packing arrangement in recent years is the spring-loading of packing. Spring loading is applied almost exclusively to V-ring (Chevron) packing. The force required by the spring is small compared with the force imposed on the packing by the liquid.

Spring loading of packing has many advantages:

- ▶ Requires no adjustment of the gland - This removes one of the biggest variables in packing life which is operator skill.
- ▶ Allows expansion - If the packing expands due to frictional heat during the initial break-in, the spring allows for the expansion.
- ▶ Eliminates the need for gland if pump design Allows

Disadvantages of spring-loaded packing are associated with the cavity created by the spring. Since this cavity communicate directly with the pumping chamber, the additional clearance volume can cause a reduction in volumetric efficiency if the pumpage is sufficiently compressible.

### 6-1-9- Packing

A packing is a material used to provide a seal around the plunger, piston rod or piston.

### 6-1-10- Gland

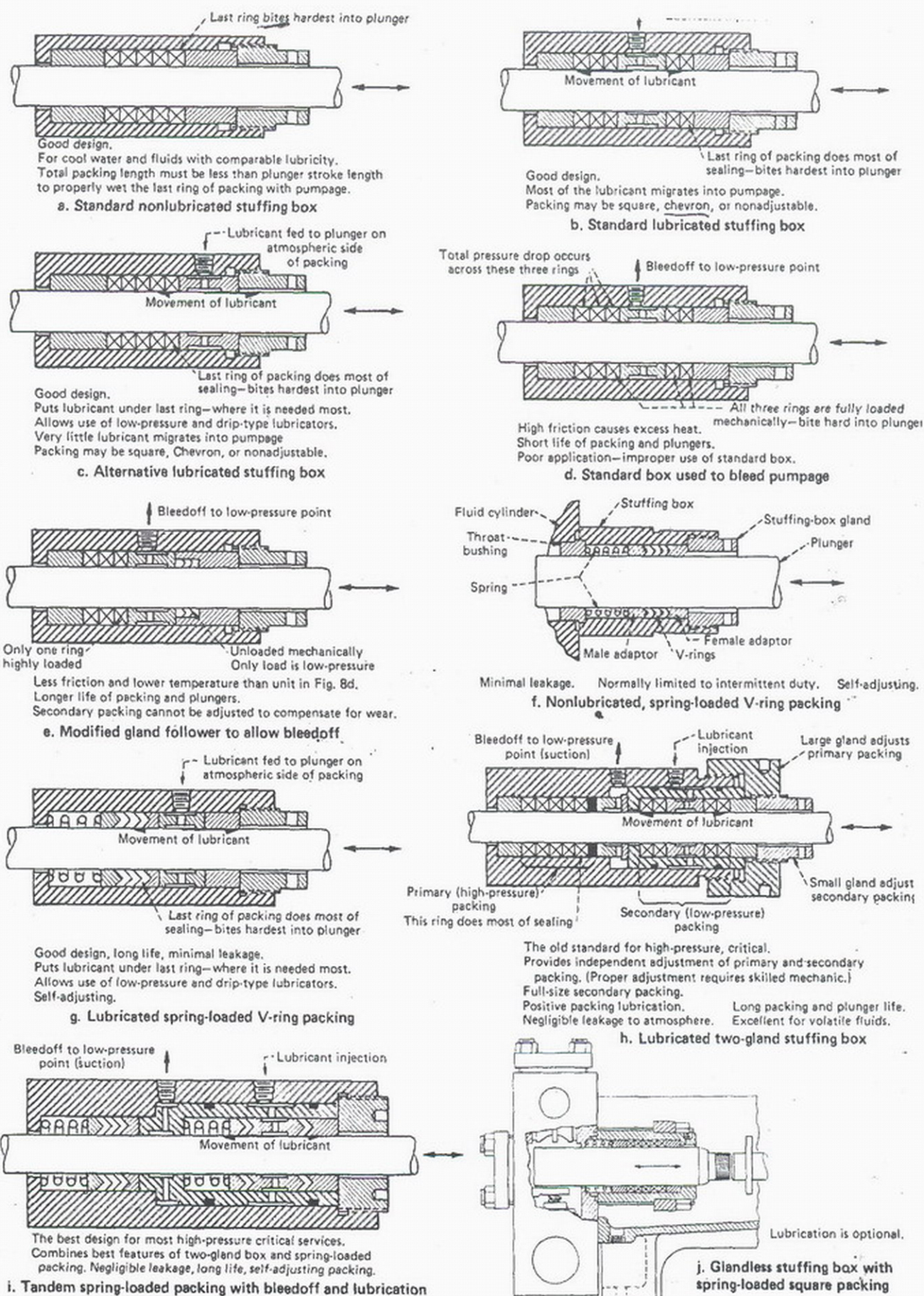
A gland is a part which retains the packing in the stuffing box.

### 6-1-11- Lantern ring

A ring located in the stuffing box to provide space for the introduction of a lubricant or barrier liquid.

### 6-1-12- Valve assembly

Valve assembly usually consists of a seat, valve, spring and spring retainer. It allows liquid to enter and leave each pumping chamber of the cylinder. Each pumping chamber has one or more suction and discharge valve(s).



**Fig. 18: Stuffing-box types for reciprocating pumps**



## 6-2- Power end parts

Power end is the portion of the pump in which the rotating motion of the crankshaft is converted to a reciprocation motion through connecting rods and crossheads.

### 6-2-1- Power frame

Power frame is the portion of the power end which contains the crankshaft, connecting rods, crosshead and bearings used to transmit power and motion to the liquid end. It may consist of one or two pieces (if two, there is one upper and one lower half).

### 6-2-2- Crank shaft

Crank shaft is the stepped shaft which transmits power and motion to the connecting rods. Main bearings and connecting rods are fitted on this member.

### 6-2-3- Main bearing

Main bearing is the bearing which supports the crankshaft. Main crankshaft bearings may be sleeve or rolling contact type, mounted at each end of the shaft or located elsewhere to provide proper support. These bearings absorb the liquid and inertia loads that are developed by the plunger as it displaces the liquid.

### 6-2-4- Connecting rod

Connecting rod articulates the motion of the crankshaft to the crosshead. Power is transmitted through compression and/or tension.

### 6-2-5- Crankpin bearing

Crankpin bearing transmits the oscillating reciprocating load transmitted by the connecting rod to the crankshaft.

### 6-2-6- Wrist pin

Wrist pin connects the connecting rod to the crosshead.

### 6-2-7- Crosshead extension (plunger extension)

Crosshead extension connects the crosshead to the plunger

### 6-2-8- Frame extension

Frame extension connects the liquid end to the power frame when the liquid end is not bolted directly to the frame. A horizontal extension is sometimes called a cradle.

## 7-DEFINITIONS

Terms used in reciprocating pump application are as follows

### 7-1- Stroke (L)

Once complete unidirectional motion of piston or plunger. Stroke length is expressed in inches (millimeters).

### 7-2- Pump Capacity (Q)

The quantity of liquid actually delivered per unit of time at suction conditions. It assumes no entrained gases at the stated operating conditions.

### 7-3- Speed (n)

The number of revolutions of the crankshaft in a given unit of time. Speed is expressed as revolutions per minute.

### 7-4- Pump displacement (D)

The displacement of a reciprocating pump is the volume swept by all pistons or plungers per unit of time. Deduction for piston rod volume is made on double-acting piston type pumps when calculating displacement. For single-acting pumps formulation is as follows:

$$\text{(US units) } D = \frac{ALnM}{231}$$

$$\text{(Metric units) } D = \frac{ALnM}{16.7 \times 10^6}$$

for double-acting pumps with no tail rod(s) formulation is as follows:

$$\text{(US units) } D = \frac{(2A - a)LnM}{231}$$

$$\text{(Metric units) } D = \frac{(2A - a)LnM}{16.7 \times 10^6}$$

where:

A = Plunger or piston area;  
 a = Piston rod cross-sectional area;  
 L = Stroke length;  
 n = rpm of crankshaft;  
 M = number of pistons or plungers.

**7-5- Pump displacement (D)**

Slip of a reciprocating pump is the loss of capacity, expressed as a function or percent of displacement, due to leaks past the valves (including the backflow through the valves caused by delayed closing) and past double-acting pistons. Slip does not include fluid compressibility or leaks from the liquid end.

**7-6- Plunger or piston speed (v)**

The plunger or piston speed is the averages speed of the plunger or piston. It is expressed in feet per minute or meters per minute:

$$(US\ units)\ V = \frac{nL}{360} \text{ ft per second}$$

$$(Metric\ units)\ V = \frac{nL}{30000} \text{ meters per second}$$

**7-7- Total discharge pressure (P<sub>d</sub>)**

The total discharge pressure is the algebraic sum of the discharge gauge pressure, velocity pressure and elevation pressure measured on the discharge side of the pump:

$$(US\ units)\ P_d = P_{gd} + \frac{\left[ \frac{v^2}{2g} + Z_d \right]_s}{2.31} \text{ psi}$$

$$(Metric\ units)\ P_d = P_{gd} + \frac{\left[ \frac{v^2}{2g} + Z_d \right]_s}{0.102} \text{ kPa}$$

**7-8- Total suction pressure (P<sub>s</sub>)**

The total suction pressure is the algebraic sum of the suction gauge pressure, velocity pressure and elevation pressure measured on the suction side of the pump:

$$(US\ units)\ P_s = P_{gs} + \frac{\left[ \frac{v^2}{2g} + Z_s \right]_s}{2.31} \text{ psi}$$

$$(Metric\ units)\ P_s = P_{gs} + \frac{\left[ \frac{v^2}{2g} + Z_s \right]_s}{0.102} \text{ kPa}$$

**7-9- Total differential pressure (P<sub>H</sub>)**

The measure of the pressure increase imparted to the liquid by the pump, is therefore the difference between the total discharge pressure and the total suction pressure:

$$P_H = P_d - P_s$$

**7-10- Elevation pressure (P<sub>z</sub>)**

The potential energy of the liquid due to elevation of the gauge or liquid level above or below the datum, expressed as equivalent pressure.

**7-11- Elevation head (Z)**

The vertical distance from the centerline of a pressure gauge or liquid level to the datum

### 7-12- Velocity pressure ( $P_v$ )

Velocity pressure is the hydraulic pressure needed to move fluid from rest to the average velocity.

### 7-13- Friction loss pressure ( $P_f$ )

The loss of pressure energy in a liquid due to friction as it flows through pipe and fittings.

### 7-14- Pump input power ( $P_p$ )

The mechanical power delivered to a pump input shaft, at the specified operating conditions.

### 7-15- Pump output power ( $P_w$ )

The power imparted to the liquid by the pump. It is also called water horsepower or liquid horsepower:

$$\text{(US Units)} P_w = \frac{Q \times P_H}{1714}$$

$$\text{(Metric Units)} P_w = \frac{Q \times P_H}{3600}$$

### 7-16- Pump efficiency ( $\eta_p$ ) (also called pump mechanical efficiency)

The ratio of the pump power output to the pump power input expressed as a percent:

$$\eta_p = \frac{P_w}{P} \times 100$$

### 7-17- Volumetric efficiency ( $\eta_v$ )

The ratio of the pump capacity to displacement expressed as a percent:

$$\eta_v = \frac{Q}{D} \times 100$$

### 7-18- Net positive suction head available (NPSHA)

Net positive suction head available is the total suction pressure available from the system at the pump suction condition, minus the vapor pressure of the liquid at pumping temperature, acceleration head loss, friction losses, and pressure pulsations due to acoustical resonances. NPSHA for a reciprocating pump is normally expressed in pounds per square inch (Newton per square millimeter).

### 7-19- Net positive suction head required (NPSHR)

The amount of suction pressure, over vapor pressure, required by the pump to obtain satisfactory volumetric efficiency. This is usually when there is no more than 3% reduction in capacity.

### 7-20- Acceleration head ( $h_{acc}$ )

The pressure required to accelerate the fluid column is a function of the length of the suction line, the average velocity in this line, the rotating speed, the type of pump and the relative elasticity of the fluid and the pipe and may be calculated as follows:

$$\text{(US units)} h_{acc} = \frac{lvnC}{Kg} \quad \text{or} \quad P_{acc} = \frac{lvnC_s}{231Kg}$$

Where:

$H_{acc}$  = Acceleration head in feet (meters);

$P_{acc}$  = Acceleration pressure in psi;

$l$  = Length of suction line in feet (meters);

$v$  = Velocity in suction line in fps (m/s);

$n$  = Pump speed in rpm;

$C$  = Coefficient as follows:

	Double-Acting	Single-Acting
<b>Simplex</b>	0.628	0.200
<b>Duplex</b>	0.200	0.115
<b>Triplex</b>	0.066	0.066
<b>Quantuplex</b>	0.040	0.040
<b>Septuplex</b>	0.028	0.028
<b>Nonuplex</b>	0.022	0.022

K = A factor representing the relative compressibility of the liquid;  
 (K = 1.4 for hot water, K = 2.5 for hot oil);  
 g = Gravitational constant, 32.3 ft/sec<sup>2</sup>.

NOTE -This calculation provides a conservative estimate of acceleration head losses in piping lengths up to 50 feet.

A pulsation dampener properly installed near the pump with a short, full-size connection to the pump or suction pipe can absorb the cyclical flow variation and reduce the low frequency (0-35 HZ) pressure fluctuation in the suction pipe to that corresponding to a length of 5 to 15 pipe diameters, if kept properly charged.

There is a similar pressure fluctuation on the discharge side of every power pump, but it cannot be analyzed as readily because of the pressure influence on liquid and piping elasticity plus the smaller diameter and much greater length of the discharge line in most applications. However, a pulsation dampener can be just as effective in absorbing the flow variation on the discharge side of the pump as on the suction side, and should be used if low-frequency pressure fluctuation or piping vibration is a problem.

Pressure fluctuations due to higher frequency acoustic resonances may be reduced by the addition of all-liquid filters or orifice plates. Correct sizing and location of such devices can only be accomplished as part of a pump/system

acoustic analysis.

EXAMPLE: Given a 2" x 5" triplex pump running at 360 rpm with a capacity of 73 gpm of water with a suction pipe made up of 4 feet of 4 inch pipe and 20 feet of 6 inch pipe:

Average velocity in 4 inch pipe:

$$v_4 = \frac{0.321 \times 73}{12.73} = 1.84$$

Average velocity in 6 inch pipe:

$$v_6 = \frac{0.321 \times 73}{28.89} = 0.811 \text{ fps}$$

Acceleration head in 4 inch pipe:

$$h_{acc_4} = \frac{4 \times 1.84 \times 360 \times 0.066}{1.4 \times 32.2} = 3.88 \text{ ft}$$

Acceleration head in 6 inch pipe:

$$h_{acc_6} = \frac{20 \times 0.811 \times 360 \times 0.066}{1.4 \times 32.2} = 8.55 \text{ ft}$$

Total acceleration head:

$$h_{acc} = 3.88 + 8.55 = 12.43 \text{ ft}$$

$$P_{acc} = \frac{h_{acc} \rho}{2.31} = \frac{12.43 \times 1.0}{2.31} = 5.38 \text{ Psi}$$