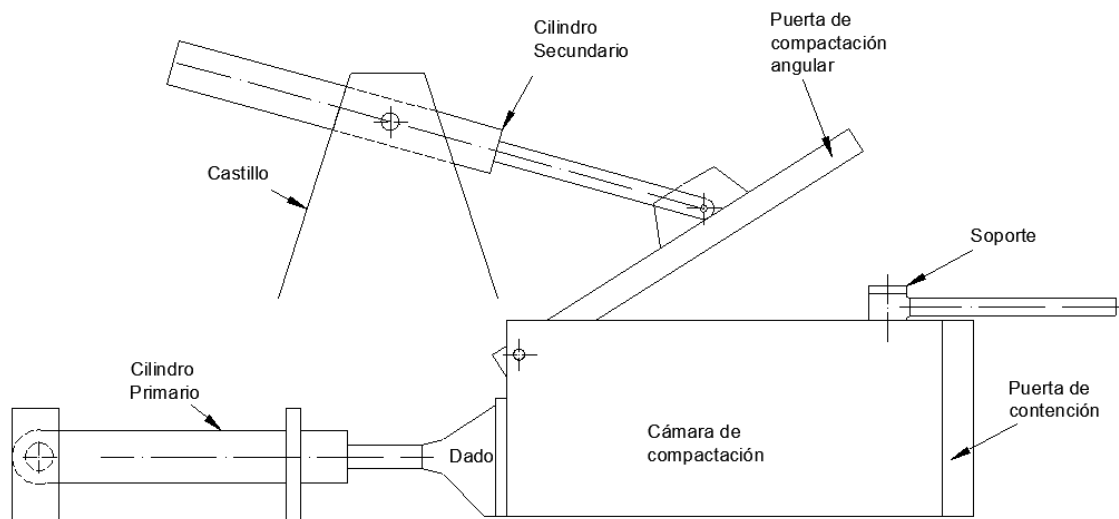


## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

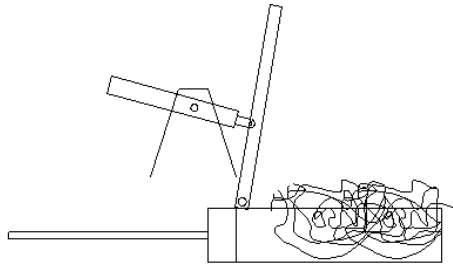
#### 3.1. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

El trabajo de la compactadora se enfocará en la deformación permanente de los desechos metálicos. Los elementos de la máquina deben estar diseñados en base a las cargas reales de la operación, tal que soporten los esfuerzos producidos al momento de compactar. El diseño de los elementos, muchas veces resulta complejo en cuanto al cálculo de esfuerzos o desplazamientos y serían vanos si están basados en cargas incorrectas o si están mal definidas las características de diseño.



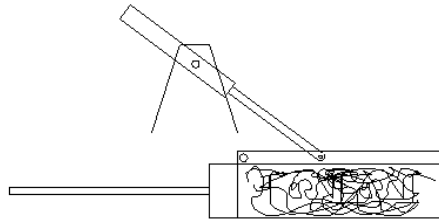
**Figura 3.1 Esquema general**

Los siguientes esquemas muestran el proceso que realizará la compactadora, este da una síntesis del funcionamiento del equipo de compactación.



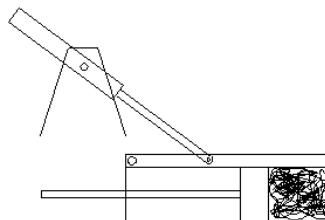
**Figura 3.2 Llenado de la cámara de compactación**

En el primer paso, la cámara de compactación debe llenarse, se puede incluso sobrepasar el borde superior.



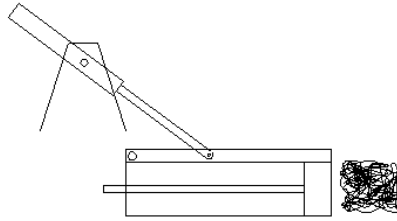
**Figura 3.3 Accionamiento del cilindro secundario (Puerta de Compactación angular)**

En este segundo paso la puerta de compactación angular realiza la primera etapa de compactación. El cierre de la puerta se lo puede hacer en varios tiempos para conseguir tener lista la chatarra para la siguiente etapa.



**Figura 3.4 Accionamiento del cilindro primario**

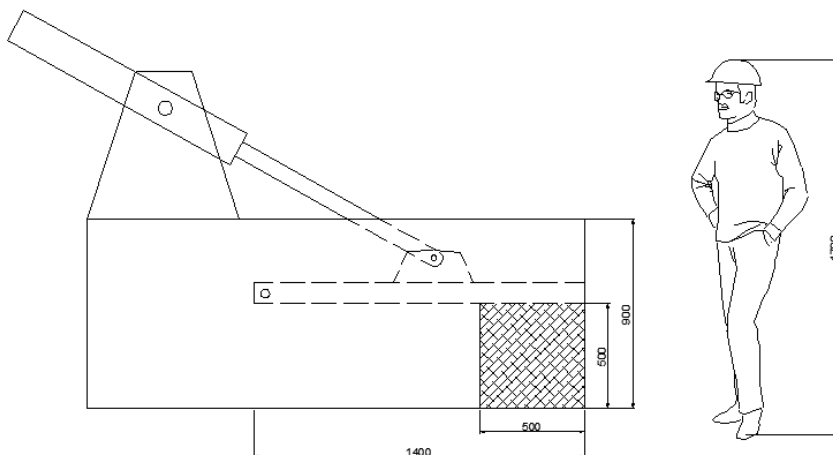
Esta segunda etapa de compactación es la definitiva, en esta se aplicará la mayor fuerza y se necesitará un cilindro de mayor diámetro que en la etapa anterior.



**Figura 3.5 Esquema de compactación**

En este último paso se procura usar la carrera del pistón para expulsar la chatarra ya compactada. Se requerirá de una puerta adicional para poder expulsar la chatarra compactada. Esta toma el nombre de puerta de contención.

Las medidas finales de la paca deben ser máxima las de un cubo de 500 mm de lado, es por esto que el ancho de la cámara de compactación tendrá esta medida. El largo de la cámara dependerá de la carrera del cilindro principal. La altura será mayor a los 500 mm sin embargo la longitud final una vez cerrada la puerta, sí tendrá estas medidas. La razón para esto es poder contener la mayor cantidad de material dentro de la cámara antes de que se realice la compactación. Si se excede en el valor de la longitud de la altura se puede tener problemas en cargar la cámara, es por esto que se considero 900mm como una buena estimación. Como muestra la figura se toma en cuenta la altura de una persona promedio para que no se dificulte el ingreso de chatarra a la cámara.



**Figura 3.6 Comparación con la altura de una persona promedio**

### **3.1.1. PRESIÓN Y FUERZA NECESARIA PARA COMPACTAR**

Para determinar la presión y fuerza mínima para deforma la chatarra, se toma en cuenta el tipo de chatarra que entrará en la cámara de compactación y el porcentaje de deformación que se deberá cumplir. La compactadora está destinada a procesar los siguientes tipos de elementos.

- Latas de electrodomésticos
- Barriles de aceite
- Cuadrantes de bicicletas
- Platinas
- Puertas metálicas
- Jaulas de animales
- Láminas metálicas
- Puertas metálicas
- Cocinas
- Tarros de pintura
- Parrillas de cocina

Se compactará solo este tipo de desechos o los de características similares, los elementos que no deberían entrar en la compactadora son por ejemplo:

- Perfiles
- Placas gruesas
- Latas de container
- Motores

Y materiales de características similares.

Se procedió a determinar la relación entre la fuerza y el porcentaje de deformación por medio de experimentación. El procedimiento consiste en compactar embases cilíndricos con un volumen de  $3.78 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  que contienen los tipos de chatarra mencionados anteriormente, para luego compactarlos con el fin de determinar cuál es el porcentaje de reducción en la longitud y la relación con la fuerza aplicada necesaria para deformar la chatarra.



**Figura 3.7 Elementos de prueba**

Como muestra la figura, se procuró tener la mayor densidad, reduciendo en lo posible el espaciamiento entre los desechos. Para esto se preparó los elementos de prueba como ilustra la figura



**Figura 3.8 Elemento de prueba pre compactada**

Para las pruebas se utilizó una prensa hidráulica manual de 100 Toneladas, carrera de pistón de 80 mm.



**Figura 3.9 Proceso de compactación, elemento de prueba 1**

### **Variables a medir**

Variable independiente: % de Compactación

Variable dependiente: Fuerza necesaria para compactar

### **Procedimiento del ensayo**

1. Se procedió primero a preparar los elementos de prueba, esto consistió en llenar los depósitos cilíndricos (galones de pintura) con desechos metálicos. Estos tienen una altura de 0,19 m
2. En el laboratorio de mecánica de materiales se usó una prensa manual con capacidad 100 Ton, carrera de 80 mm y alzas para apoyar los cilindros cuando la carrera llegaba a su máximo.
3. Se realizaron mediciones con un manómetro ubicado en la prensa.
4. La medición de la distancia se la realizó desde el centro del pistón. Hasta llegar a la fuerza de 90 Ton.
5. Se realizó el mismo procedimiento con los tres elementos de prueba.

### **Consideraciones del ensayo**

El dado de la prensa tiene una rótula que permite el movimiento de los elementos a ser prensados. Se debe considerar esto para hacer los respectivos reajustes.

Una vez que el vástago del gato hidráulico, completa su carrera, se debe regresar el vástago para ubicar las alzas y aprovechar la corta carrera del pistón.

## Posibles errores

Como muestra la figura 3.8, la compactación se la realizó sin soportes en los lados, sin embargo con el recipiente cilíndrico de prueba, se intentó simular este particular.

## Resultados

**Tabla 3.1 Resultados**

TABLA DE RESULTADOS											Lo=0,19m	
Prueba 1				Prueba 2				Prueba 3				
long	Lc	Comp	Fuerza	long	Lc	Comp	Fuerza	long	Lc	Comp	Fuerza	
(m)	(m)	%	(ton)	(m)	(m)	%	(ton)	(m)	(m)	%	(ton)	
0,04	0,15	76,3611	2	0,12	0,07	0,147	2	0,07	0,12	54,05	4	
0,035	0,155	79,6401	6	0,071	0,119	53,21	4	0,038	0,152	77,69	7	
0,03	0,16	82,815	10	0,05	0,14	69,46	5	0,03	0,16	82,81	10	
0,028	0,162	84,0572	12	0,04	0,15	76,36	7	0,028	0,162	84,06	14	
0,025	0,165	85,8921	12,5	0,035	0,155	79,64	10	0,02	0,17	88,88	25	
0,025	0,165	85,8921	13	0,031	0,159	82,19	15	0,018	0,172	90,05	30	
0,024	0,166	86,4964	15	0,025	0,165	85,89	20	0,016	0,174	91,2	35	
0,022	0,168	87,694	18	0,024	0,166	86,5	22	0,01	0,18	94,59	45	
0,02	0,17	88,8774	28	0,021	0,169	88,29	30	0,009	0,181	95,15	50	
0,019	0,171	89,4639	40	0,02	0,17	88,88	35	0,008	0,182	95,7	55	
0,018	0,172	90,047	55	0,015	0,175	91,78	60	0,007	0,183	96,25	65	
0,017	0,173	90,6268	70	0,014	0,176	92,35	70	0,007	0,183	96,25	70	
0,012	0,178	93,4759	88	0,012	0,178	93,48	75	0,005	0,185	97,33	75	
0,012	0,178	93,4759	93	0,01	0,18	94,59	80	0,005	0,185	97,33	80	

## Ejemplos de Cálculos

$$\text{long} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Lc} = 0.19 - \text{long} = 0.04 \text{ m}$$

$$\text{Comp} := 1 - \ln\left(\frac{0.19}{0.15}\right) = 0.764$$

la que mejor se ajusta.

Que equivale a 76% de compactación, se usa la expresión logarítmica debido a que es

## Análisis de resultados

Tabla 3.2 Promedio de los tres elementos de prueba

Promedio	
Pcomp	Pfuerza
43,5	2,7
70,2	5,7
78,4	8,3
81,5	11,0
84,8	15,8
86,0	19,3
87,9	23,3
89,6	28,3
90,8	36,0
91,3	43,3
92,7	60,0
93,1	70,0
94,8	79,3
95,1	84,3

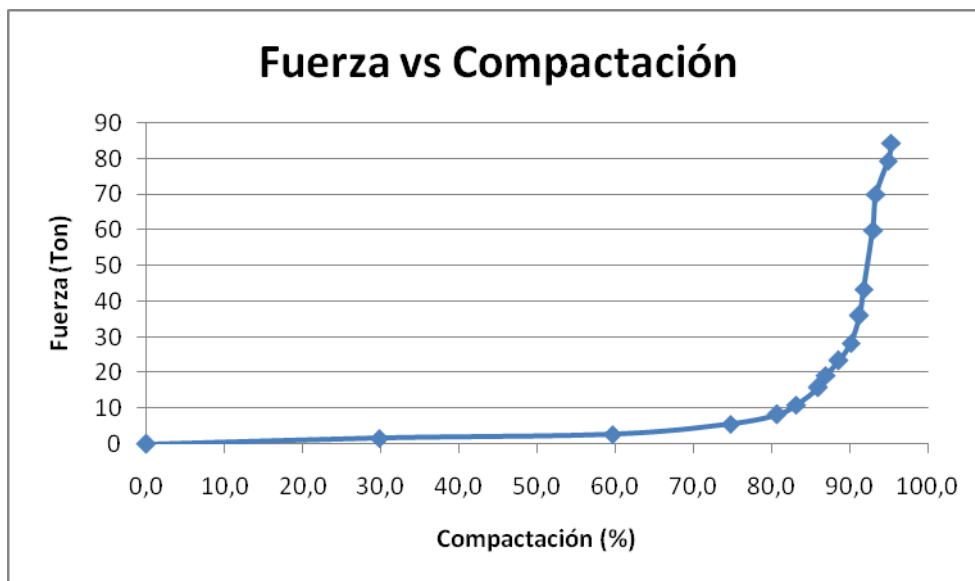
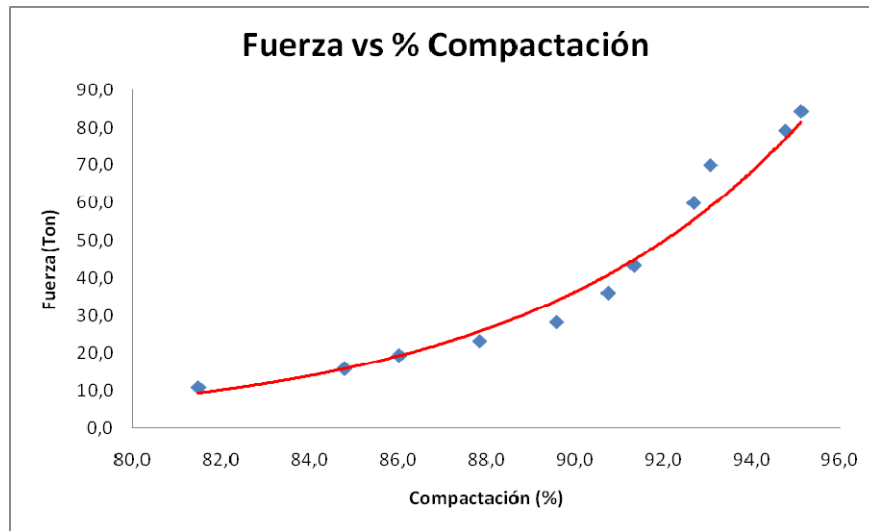


Figura 3.10 Análisis de resultados

La curva evidentemente tiene dos etapas, hasta la reducción del 80% se considera la primera etapa, que se caracteriza por la reubicación del material dentro de la cámara de compactación, para esta primera fase no se necesita más allá de 10 TON y tiene un comportamiento lineal. La segunda etapa que es



cuando ya se consigue una deformación permanente, tiene un comportamiento exponencial.



**Figura 3.11 Segunda etapa de compactación**

### Ejemplos de Cálculos

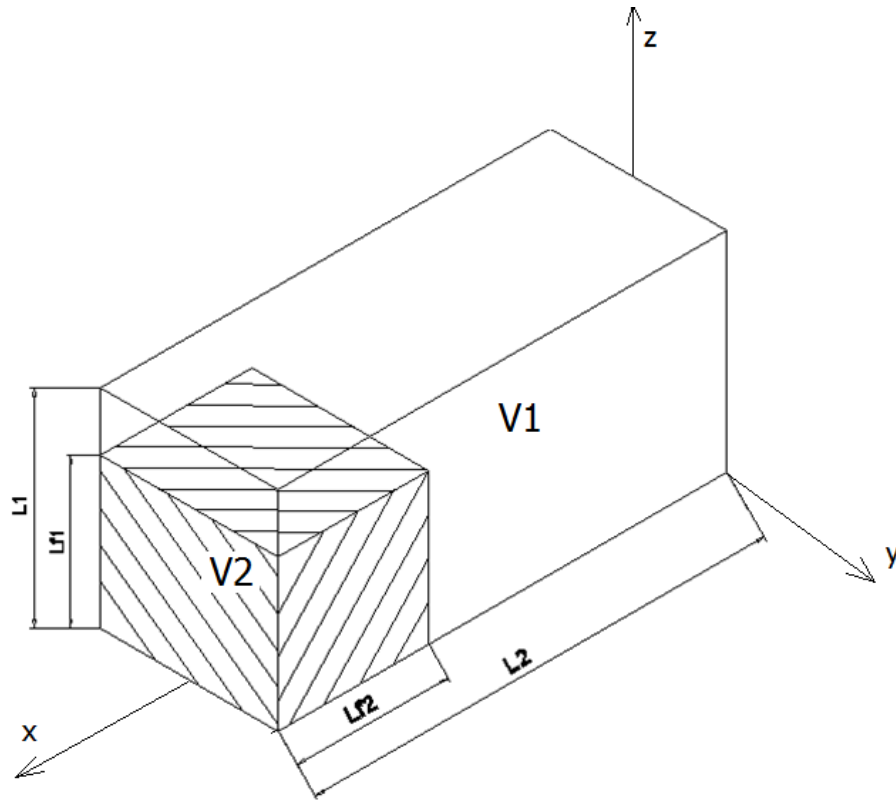
$$P_{\text{comp}} = \frac{79.6 + 53.21 + 77.7}{3} = 70.17 \quad \%$$

$$P_{\text{fuerza}} = \frac{10 + 5 + 10}{3} = 8.333 \quad \text{Ton}$$

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se realiza la selección y el análisis de los cilindros en el numeral 4.1.

### 3.1.2. CAPACIDAD VOLUMÉTRICA

La capacidad volumétrica de la compactadora está dada por el volumen de chatarra que puede entrar en la cámara de compactación. Es importante tener en cuenta que el tamaño final del material compactado debe ser máximo 500x500x500 mm, (esto se explica en el numeral 2.2.1.4) es decir que el área del dado de compactación debe ser de 500x500 mm, pudiendo variar según las dimensiones de exportación, que aceptan que varíe el tercer lado.



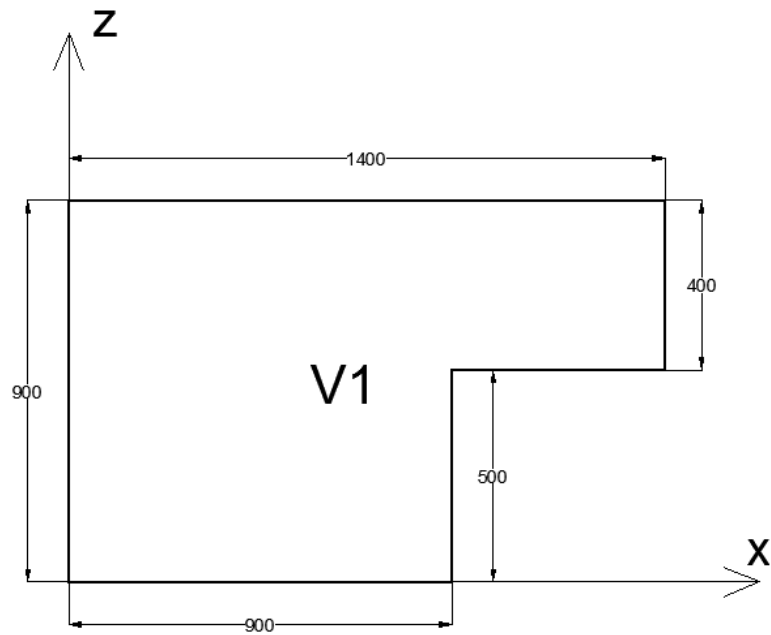
**Figura 3.12 Capacidad volumétrica**

De acuerdo a las dimensiones de la cámara de compactación (véase la Figura 3.6 y 3.10) y del tamaño máximo del producto compactado se tiene una longitud de compactación de 900 mm, llegando a un porcentaje del 56% con el gato principal (%GP) y una reducción del 19% con el gato secundario (%GS).

$$\%GP = 100 - \ln\left(\frac{140}{90}\right) \cdot 100 = 55.817 \quad \%$$

$$\%GS = 100 - \ln\left(\frac{90}{40}\right) \cdot 100 = 18.907 \quad \%$$

Estos porcentajes corresponden a los pistones considerados independientemente, para hacer la analogía se hizo de esta forma debido a que el experimento se lo realizó solo con un cilindro hidráulico. Teniendo en cuenta todo el volumen de la cámara de compactación se tiene que la máquina tendrá la siguiente capacidad volumétrica.



**Figura 3.13 Volumen 1**

$$V1 := (1.40 \cdot 0.9 - 0.5 \cdot 0.5) \cdot 0.5 = 0.505 \quad \text{m}^3$$

$$V2 := 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 0.125 \quad \text{m}^3$$

$$V_T := V1 + V2 = 0.63 \quad \text{m}^3 \quad \text{Volumen total}$$

$$C_v := \frac{V1}{V_T} \cdot 100 = 80.159 \quad \% \quad \text{Capacidad volumétrica total}$$

Es decir que la compactadora tendrá la capacidad de reducir el volumen en un 80%.

### 3.1.3. VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN

La velocidad de deformación está relacionada con la cantidad de pacas que producirá la máquina por día. O lo que resultaría más conveniente de medir, las toneladas de chatarra compactada por unidad de tiempo, sea estos días o meses.

El cliente estima comprar 300 toneladas al mes. Las que deberán ser compactadas durante este período de tiempo para su posterior transportación y venta. Para estimar la velocidad con que se deben llenar los cilindros hidráulicos, se necesita la densidad de la chatarra. Como resultaría obvio por el lector, es complicado definir la densidad de un elemento que se sabe no será

homogéneo, por esta razón, el valor de la densidad se la obtendrá en base a la experimentación realizada en la sección 3.1.1. De esta tenemos:

$M_{prb} = 1.58757 \text{ Kg}$	Masa de la probeta (3.5 lb)
$V_{prb} = 0.00378541 \text{ m}^3$	Volumen de la probeta
$\rho_c = \frac{M_{prb}}{V_{prb}} = 419.392 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	Densidad de la chatarra
$V_T = 0.63 \text{ m}^3$	Volumen de la cámara de compactación
$M_p = V_T \cdot \rho_c = 264.217 \text{ Kg}$	Masa de la paca
$C_{mes} = 300000 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}}$	Capacidad de la planta requerida por el cliente mensualmente
$C_{min} = \frac{C_{mes}}{20 \cdot 8 \cdot 60} = 31.25 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$	Capacidad requerida por minuto considerando 8 horas de trabajo al día y 20 días por mes.
$T_m = \frac{M_p}{C_{min}} = 8.455 \text{ min}$	Tiempo requerido para completar la compactación.

Este tiempo deberá distribuirse entre la carga de la cámara de compactación, el avance y retorno de los cilindros, el cierre de la puerta de compactación angular y de contención además de la descarga de la paca. Es decir que el tiempo que se necesitará específicamente para compactar será de menos de 1 minuto.

En la sección 4.1 se seleccionará los cilindros a partir de este tiempo, posteriormente en la sección 4.5.2 se determinará el caudal necesario para cumplir el requerimiento de diseño y así determinar una velocidad de deformación.

### 3.1.4. TAMAÑO MÍNIMO DE PRODUCTO COMPACTADO

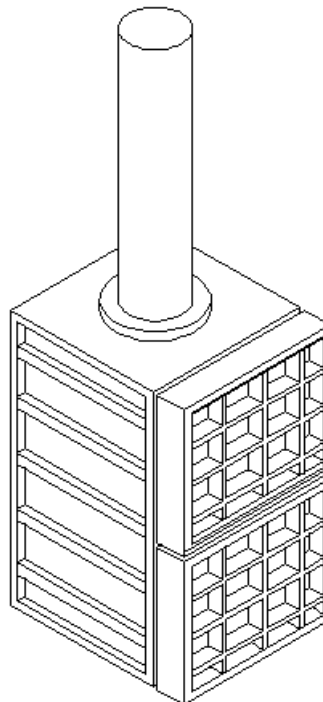
El volumen final de la chatarra compactada deberá tener las siguientes dimensiones máximas, 0.5 m de alto, 0.5 m de ancho y 0.5 m de profundidad que equivale a lo que cumple con dimensiones establecidas para ser exportada o ser fundida en las diferentes industrias siderúrgicas del país, especialmente al horno de la empresa ANDEC, el principal destinatario de la

chatarra compactada por la empresa “Recicladora Mejía”. Para afirmar las dimensiones se toma en cuenta el numeral 2.2.1.4

### **3.1.5. DIRECCIÓN DE COMPACTACIÓN**

#### *Compactadoras verticales*

Tienen limitaciones al momento de cargar la chatarra en el compartimento de compactación, por lo que este tipo de máquinas se usa para compactar barriles del tipo de almacenamiento de aceite entre otros.



**Figura 3.14 Compactadora vertical**

Esta compactadora tiene un mecanismo en la parte posterior para liberar al momento que el cilindro en la parte superior termina de compactar. El problema que presenta este diseño es que al contar con puertas accionadas manualmente, estas pueden resultar difíciles de cerrar y la chatarra que desborde podría resultar un problema mayor.

#### *Compactadoras horizontales*

Funciona en dos etapas: La primera es una compactación angular hasta alcanzar una posición horizontal. Una vez que esta termina su recorrido

entrará a funcionar el pistón principal generando una compactación horizontal<sup>1</sup>.

### **3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y MATRIZ DE DECISIÓN**

La gran ventaja de la matriz de decisiones es que permite tomar decisiones de manera objetiva, basadas en un sistema de valoración, en lugar de confiar únicamente en una intuición o una visión subjetiva.

#### *Capacidad de compactación*

Esta es la funcionalidad de la máquina basada en el tiempo y facilidad de operación así como el peso final de la paca. A este factor se le da un valor de 9.

#### *Costo*

Debido a que la empresa es pequeña, la inversión inicial debe ser pequeña. Se da un valor de 8 debido a que mayor costo significa mayor calidad.

#### *Consumo eléctrico*

Refiriéndose a la ganancia neta que obtendrá el dueño de la compactadora, se ganará mucho más con lo producido por el motor, que por el consumo eléctrico. Es por esta razón que se pondera con 7 a este factor

#### *Fuerza de compactación*

Este factor es el más importante ya que está ligada directamente con la capacidad de compactación. Debido a esto se le da un valor de 10.

---

<sup>1</sup> Esto se ilustró en el esquema de la figura 3.1

