

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

"SISTEMA DE EMERGENCIA PARA PURIFICAR AGUA POR OZONIZACIÓN Y CONTROL DE PH"

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

JIMMY ALBERTO ARONE CHURASI

ASESOR: Mag. José Antonio Osada Mochizuki

Lima, septiembre de 2013

Anexos

Tablas:

Tabla I Propiedades del agua potable	2
Tabla II Tabla comparativa de Ozono vs Cloro	3
Tabla III Patógenos eliminados por el ozono.....	5
Tabla IV Valores de Consumo de Energía.....	6
Tabla V Diagrama de Consumo de Energía	6



A. Normativa del agua potable.

El organismo peruano que regula las características del agua potable es La Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento SUNASS. En el oficio 677-2000, SUNASS establece los parámetros importantes para la potabilización del agua y su naturaleza para el consumo humano.

En la siguiente Tabla, se muestra los parámetros más importantes y su límite máximo permisible.

PARÁMETRO	LMP
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500
pH	6,5 – 8,5

Tabla I Propiedades del agua potable

SUNASS, Oficio 677, 2000

LMP: Límite máximo permisible
UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

B. Comparación entre ozonización y cloración.

Los métodos clásicos de purificación de agua usan al cloro como agente oxidante para la desinfección de agentes patógenos. Este método de desinfección es muy sencillo; sin embargo, no es el método óptimo. En el manejo de tiempos, el ozono es 600 veces más rápido que el cloro y tiene un poder oxidante mayor en 20 veces al cloro.

Si bien, la implementación de ozonizadores es mucho más costosa que el cloro, es más óptimo y de mayor rapidez.

Ozono vs Cloro en agua

ACCIÓN EN EL AGUA	CLORO	OZONO
Potencial de oxidación (mV)	1.36	2.07
Desinfección de virus y bacterias	moderado	excelente
Ambientalmente amigable	no	sí
Remoción de colores	moderado	excelente
Oxidación de orgánicos	moderado	alto
Micro floculación	ninguno	moderado
Efecto en el pH	variable	bajo
Vida media en el agua	2-3 hrs	20 min
Toxicidad cutánea	alto	moderada
Toxicidad inhalación	alto	alto
Complejidad de implementación	bajo	alto
Costo	bajo	alto
Costo mensual de uso	alto	bajo
Pre - tratamiento de aire	ninguno	extensivo

Tabla II Tabla comparativa de Ozono vs Cloro

<http://www.feragus.cl>

C. Ozonización como agente patógeno

La ozonización está encargada de purificar el agua de las bacterias y virus. Según la norma para la consideración de agua potable, se debe eliminar la presencia de Coliforme generado por medio de los depósitos fecales.

PATÓGENOS	DOSIS DE OZONO
Aspergillus Niger (Black Mount)	Eliminado con 1.5 a 2 mg/l
Bacillus Bacteria	Eliminado con 0.2 mg/l en 30 seg
Bacillus Cereus	99% eliminado después de 5 min a 0.12 mg/l
B. Cereus (spores)	99% eliminado después de 5 min a 2.3 mg/l
Bacillus subtilis	90% eliminado con 0.1ppm por 33min
Bacteriophage f2	99.99% eliminado con 0.41 mg/l por 10 segundos
Botrytis cinerea	3.8 mg/l por 2 min
Candida Bacteria	Susceptible al ozono
Clavibacter michiganense	99.99% eliminado con 1.1 mg/l por 5 min
cladosporium	90% reducción con 0.1ppm por 12.1min
Clostridium Bacteria	Susceptible al ozono
Clostridium Botulinum Spores. Its toxin paralyses the central nerves system, being a poison multiplying in food and meals	0.4 a 0.5 mg/l
Coxsackie Virus A9	95% eliminado con 0.035mg/l por 10 segundos
Coxsackie Virus B5	99.99% eliminado con 0.4mg/l por 2.5 min
Diphtheria Pathogen	Eliminado con 1.5 a 2mg/l
Eberth Bacillus (Typhus abdominalis). Spreads typically by aqueous infection and causes typhoid.	Eliminado con 1.5 a 2mg/l
Echo Virus 29: the virus most sensitive to ozone	Después de un contacto de 1min a 1mg/l, 99.99% de eliminación.
Enteric Virus	95% de eliminación a 4.1 mg/l por 29 min en agua residual.
Escherichia Coli Bacteria (from feces)	Eliminado con 0.2mg/l entre 30 segundos en agua.
E-coli (in clean water)	99.99% eliminado con 0.25 mg/l en 1.6 min
E-coli (in wastewater)	99.99% eliminado con 2.2 mg/l en 19 min
Encephalomyocarditis Virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.1 a 0.8 mg/l
Endamoebic Cysts Bacteria	Susceptible al ozono
Enterovirus Virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.1 a 0.8 mg/l
Fusarium oxysporum f.sp.lycopersici	1.1 mg/l por 10 min

Fusarium oxysporum f.sp.melonogea	99.99% eliminado con 1.1 mg/l por 20 minutos
GDVII Virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.2 a 0.8 mg/l.
Hepatitis A Virus	99.5% reducción a 0.25 mg/l for 2-seconds in a phosphate buffer.
Herpes Virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.1 a 0.8 mg/l.
Influenza Virus	0.4 a 0.5 mg/l
Klebs-Loffler Baillus	Eliminado con 1.5 a 2 mg/l.
Legionella pneumophila	99.99% eliminado con 0.32 mg/l por 20 minutos en agua
Luminescent Basidiomycetes (species having no melanin pigment)	Eliminado en 10 minutos con 100 ppm
Mucor piriformis	3.8 mg/l por 2 min
Mycobacterium avium	99.9% con un valor de CT de 0.17 en agua.
Mycobacterium foruitum	90% eliminado con 0.25% mg/l por 1.6 minutos en agua
Penicillium Bacteria	Susceptible a ozono
Phytophthora parasitica	3.8 mg/l por 2 minutos
Poliomyelitis Virus	99.99% eliminadas con 0.3 a 0.4 mg/l en 3-4 minutos.
Poliovirus type 1	99.5% eliminado at 0.25% mg/l por 1.6 minutos en agua.
Proteus Bacteria	Muy susceptible
Pseudomonas Bacteria	Muy susceptible
Rhabdovirus virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.1 a 0.8 mg/l.
Salmonella Bacteria	Muy susceptible
Staph epidermidis	90% reducción con 0.1 ppm por 1.7 min
Staphylococci	Eliminado con 1.5 a 2.0 mg/l
Stomatitis Virus	Destruído a nivel cero en menos de 30 segundos con 0.1 a 0.8 mg/l

Tabla III Patógenos eliminados por el ozono

<http://www.feraqus.cl>

D. Cálculos Electrónicos

Consumos:

Consumos de los componentes electrónicos principales

	Cantidad	Voltaje V	Corriente A	Potencia Watt
Controlador	1	5	0.154	0.77
Electroválvula	2	12	0.416	5.00
PH	1	5	0.005	0.03
Electroválvula Química	2	12	0.083	1.00
Sensor Caudal	2	5	0.015	0.08
Dosificador ácido	1	12	0.080	0.96
Dosificador básico	1	12	0.080	0.96

Tabla IV Valores de Consumo de Energía

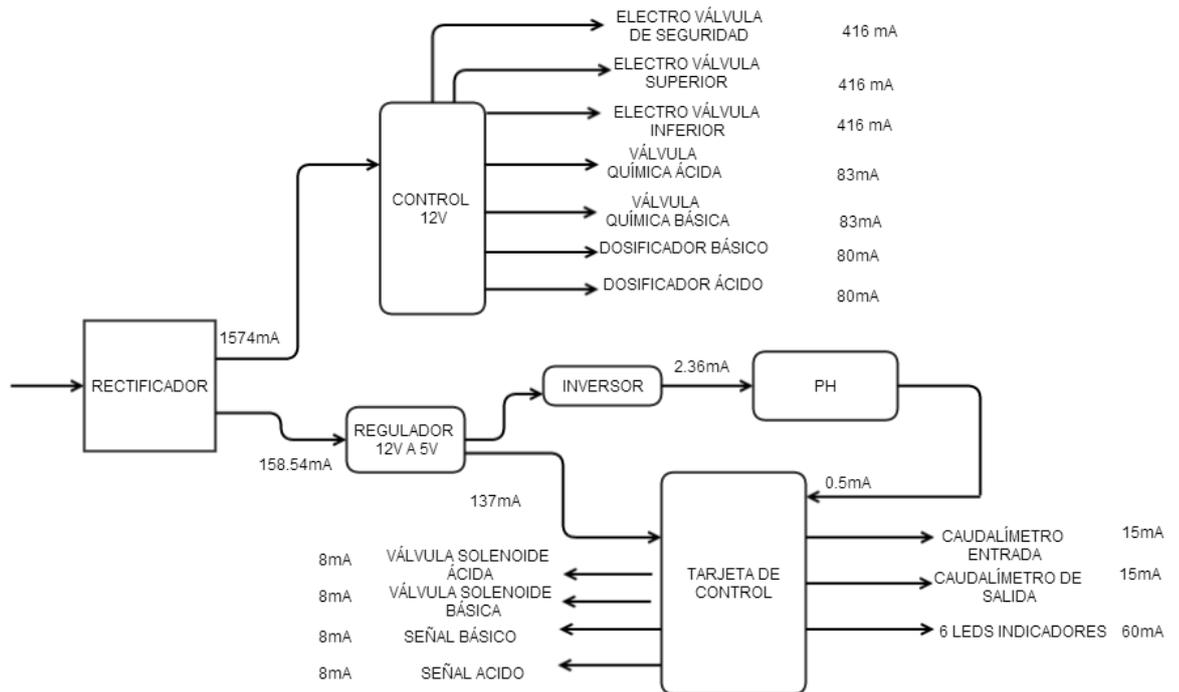
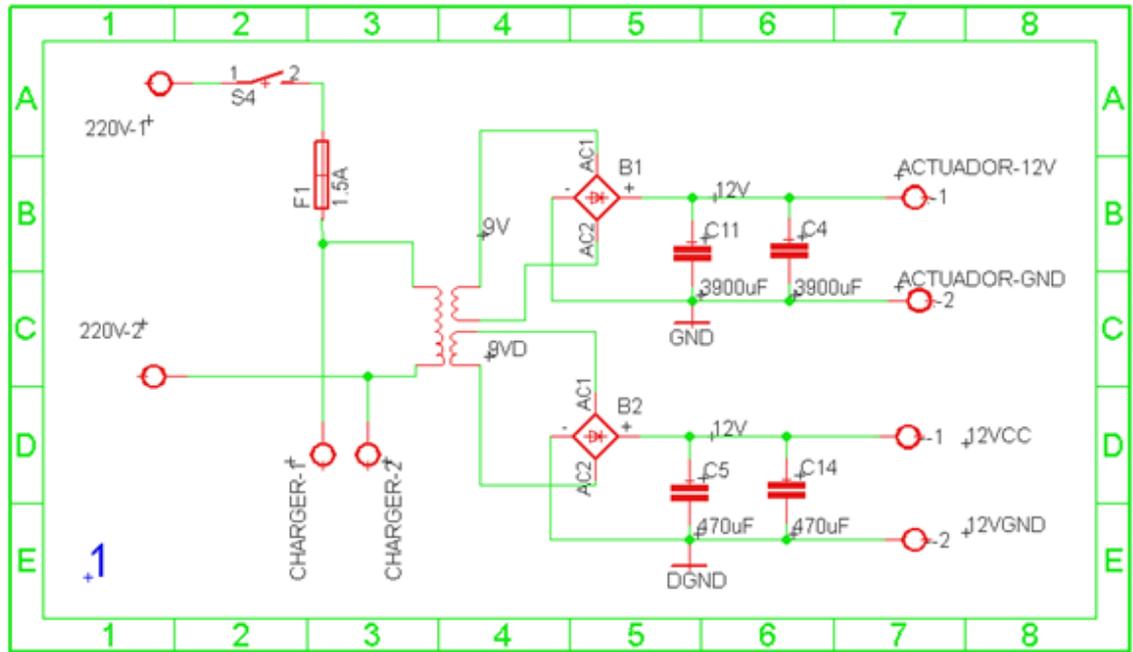


Tabla V Diagrama de Consumo de Energía

Cálculos de componentes:

Rectificación:



Se desea tener un 10% de rizado en la señal de 12V. Para ello, se tiene un transformador de 220VAC a 9VAC. Estos tienen un valor efectivo de

$$V = 9 * \sqrt{2} \approx 12.7 V \text{ el rizado sería } 1.27V$$

La corriente que sale del regulador con eficiencia de 87.9% es $I = 158.54mA$

$$V_{riz} = \frac{I}{2fc} \text{ siendo } f = 60Hz$$

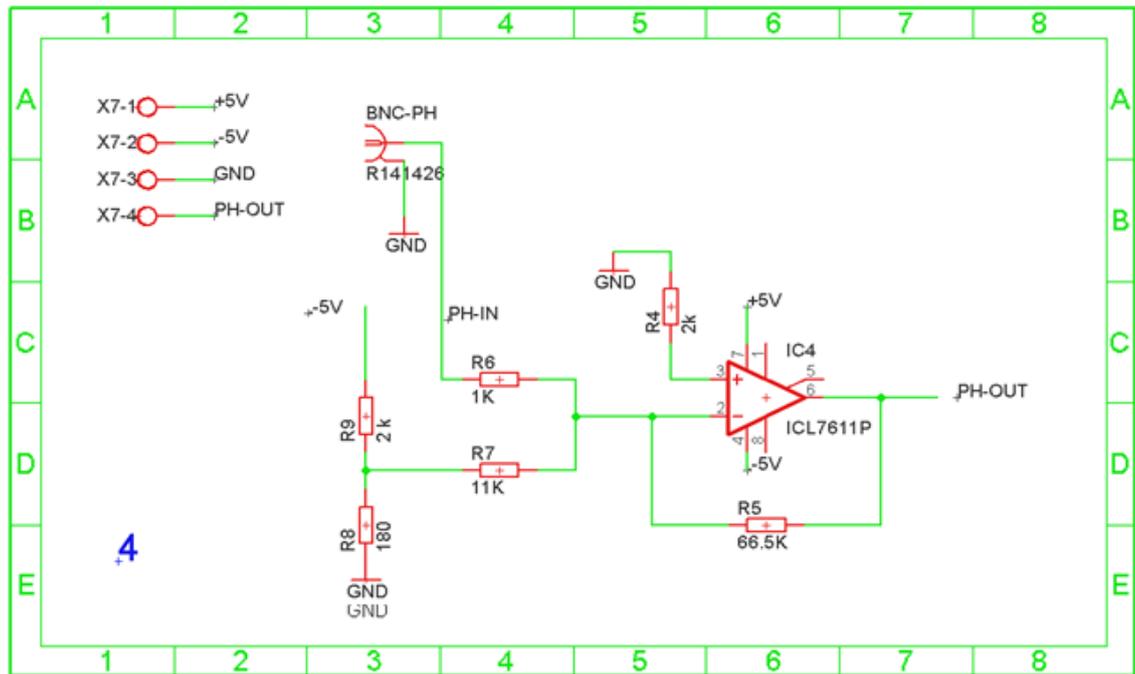
Siendo la corriente que se consume en la parte de control $I = 139.36mA$

El condensador necesario es de 908 uF; por lo tanto, se toma 2 condensadores en paralelo de 470 uF

$$V_{riz} = \frac{I}{2fc} \text{ siendo } f = 60Hz, I = 1158mA$$

El condensador necesario es de 7600 uF; por lo tanto, se toma 2 condensadores en paralelo de 3900 uF

Condicionamiento de la señal de PH



OPAMP en modo sumador inversor:

$$V_{PH-out} = -\frac{R5}{R6}(V_{offset} + V_{PH-in})$$

Como el voltaje de PH está en un rango entre -414mV y 414mV , se busca un offset de -414mV . Se toma R6 y R7 de igual valor para homogenizar la operación de amplificación.

Sea $R7=11\text{K}\Omega$ Para que $V_{PH-auto}$ esté en el rango de 0 y 5V.

$$5V = \frac{R5}{11000\Omega}(-828\text{mV}) \quad R5=66.42\text{K}\Omega \quad \text{Se toma } 66.55\text{K}\Omega$$

Como el sensor de PH tiene una impedancia de $10\text{K}\Omega$, entonces el valor de R6 es: $R6=R7-10\text{K} = 1\text{K}\Omega$

Para hallar R8 y R9:

Se tiene una corriente que entra al OPAMP en el pin 3 ≈ 0 , entonces el voltaje en 3es igual al voltaje en 2 = 0V. La resistencia R4 asegura una intensidad de corriente cercana a 0.

Por conservación de corriente en nodo:

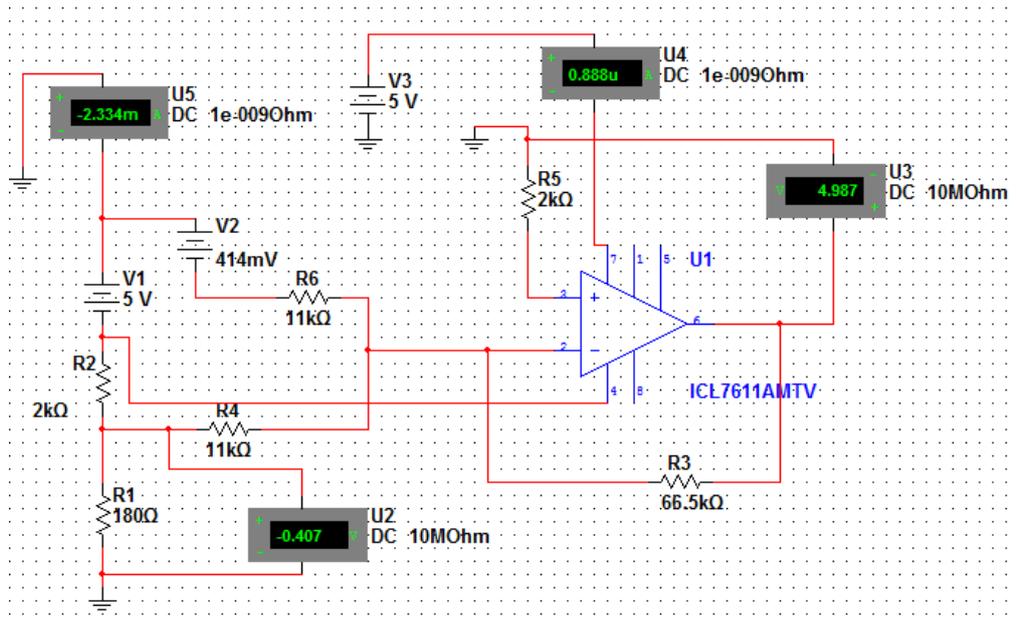
$$\frac{0 - V_{offset}}{R8} + \frac{V_{offset} + 5}{R9} = \frac{0 - V_{offset}}{200}$$

Siendo $V_{offset} = -414\text{mV}$ A partir de ello, se toma los valores de resistencias $2\text{k}\Omega$ para R9 y 180Ω para R8.

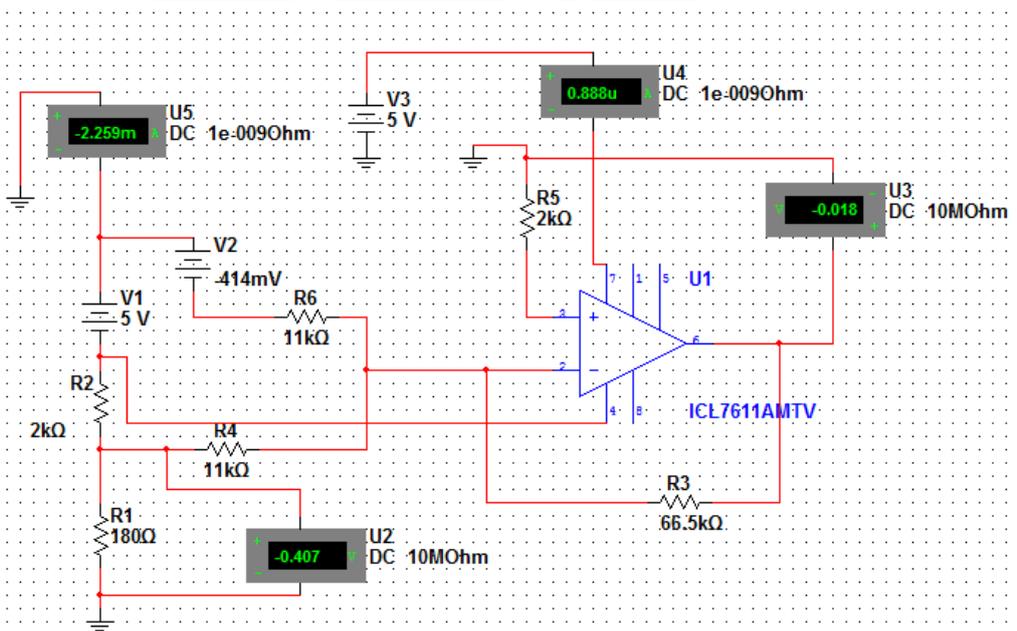
Simulación:

La siguiente simulación de acondicionamiento de señal nos indica los voltajes de entrada hacia el controlador (U3) según los voltajes del sensor de PH (V2) a un valor de acidez de PH=0 y PH=14.

PH=14
V2=414mV
U3=4,98V



PH=0
V2=-414mV
U3=0,018V



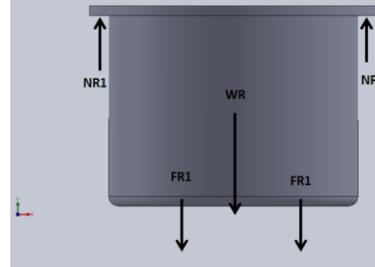
E. Cálculos mecánicos:

Reservorio Superior

$$\sum F = 0 \text{ y } \sum M_o = 0$$

$$2N_{R1} - 2F_{R1} - \frac{W_R}{2} = 0$$

$$N_{R1} = F_R + \frac{W_R}{4}$$



Reservorio Superior		
NR1	FR	WR
3.56473553	0.14898985	13.6629827

Ozonizador

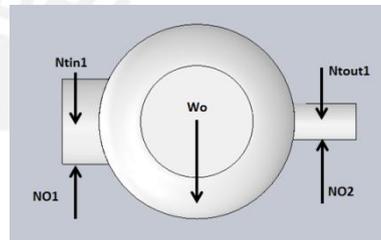
$$\sum F = 0 \text{ y } \sum M_o = 0$$

$$(N_{O1} - N_{tin1}) + (N_{O2} - N_{tout1}) - W_o = 0$$

$$(N_{O1} - N_{tin1}) * d_1 - (N_{O2} - N_{tout1}) * d_2 = 0$$

$$(N_{O1} - N_{tin1}) = \frac{d_2}{d_1} (N_{O2} - N_{tout1})$$

$$(N_{O2} - N_{tout1}) = W_o / (1 + \frac{d_2}{d_1})$$

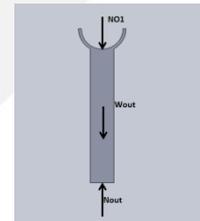


Ozonizador						
NO2	Ntout1	NO1	Ntin1	Wo	d1	d2
2.90171531	1.24219031	4.11185496	1.78851996	3.98286	0.05	0.07

Soporte del ozonizador en el inicio

$$\sum F = 0 \quad N_{O1} + W_{in} - N_{in} = 0 \quad N_{in} = N_{O1} + W_{in}$$

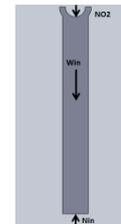
Soporte Ozonizador Inicio		
Nin	NO1	Win
4.5844419	4.11185496	0.47258694



Soporte del ozonizador en la salida

$$\sum F = 0 \quad N_{O2} + W_{out} - N_{out} = 0 \quad N_{out} = N_{O2} + W_{out}$$

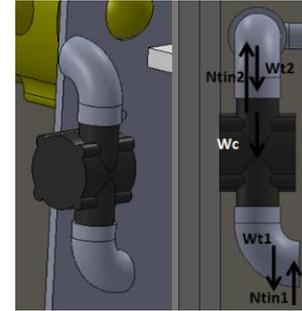
Soporte Ozonizador Salida		
Nout	NO2	Wout
1.34156553	1.05164079	0.28992474



Tubería de entrada del ozonizador

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \text{ y } \sum M_o = 0 \\ N_{tin1} + N_{tin2} - (W_t + W_c) &= 0 \\ N_{tin1} * d_1 - N_{tin2} * d_2 &= 0 \\ N_{tin1} &= \frac{d_2}{d_1} N_{tin2} \\ N_{tin2} &= (W_t + W_c) / (1 + \frac{d_2}{d_1}) \end{aligned}$$

Tubería Ozonizador					
Ntin2	Ntin1	Wt	Wc	d1	d2
1.789	1.789	0.026	3.551	0.016	0.016



Filtro:

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \quad N_f - W_f - N_{tin2} - N_{tb} = 0 \\ \sum M_o &= 0 \quad N_{tin2} * d = N_{tb} * d \quad N_{tb1} = N_{tin2} \\ N_f &= W_f + 2 * N_{tin2} \end{aligned}$$

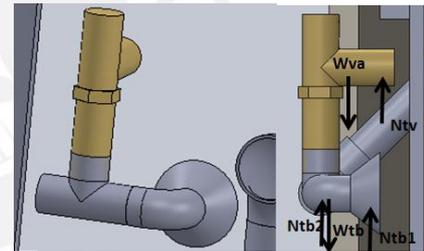
Filtro			
Nf	Wf	Ntin2	Ntb
10.444	6.867	1.789	1.789



Tubería con la válvula de alivio:

$$\begin{aligned} \sum M_{eje1} &= 0 \\ W_{va} * d_{va} - N_{tv} * d_{tv} &= 0 \\ N_{tv} &= \frac{d_{va}}{d_{tv}} W_{va} \\ \sum F &= 0 \quad N_{tb1} + N_{tb2} + N_{tv} - W_{tb} - W_{va} = 0 \\ N_{tb2} &= W_{tb} + W_{va} - N_{tb1} - N_{tv} \end{aligned}$$

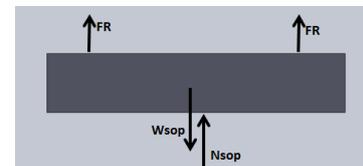
Tubería Válvula de Alivio						
Ntb2	Wva	Wtb	Ntb1	Ntv	dva	dtv
9.132	8.927	3.024	1.789	1.030	0.003	0.026



Soporte del Reservorio Superior

$$\sum F = 0 \quad W_{sop} - 2F_R - N_{ts} = 0 \quad N_{ts} = W_{sop} - 2F_R$$

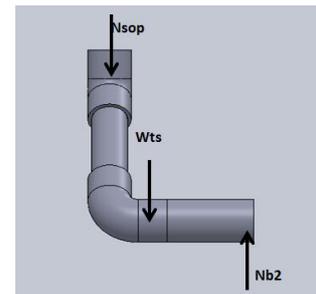
Soporte Reservorio		
Nts	Wsop	FR1
1.242	1.540	0.149



Tubería del soporte:

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \quad N_{ts} + N_{b2} - W_{ts} = 0 \quad N_{b2} = W_{ts} - N_{ts} \\ \sum M_o &= 0 \quad N_{ts} * d1 = W_{ts} * d2 \\ N_{ts} &= \frac{d2}{d1} W_{ts} \end{aligned}$$

Tubería soporte				
Nts	Wts	Nb2	d2	d1
1.242	2.584	1.342	0.052	0.025



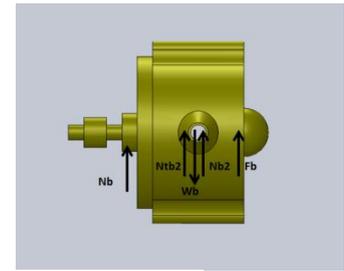
Bomba manual:

$$\sum F = 0 \quad F_{b1} + F_{b2} + N_b - N_{tb2} - N_{b2} - W_b = 0 \quad F_b = N_{tb2} + N_{b2} + W_b - N_b$$

$$\sum M_o = 0 \quad N_b * d1 = F_b * d2$$

$$F_b = \frac{W_b + N_{b2} + N_{tb2}}{(1 + \frac{d2}{d1})}$$

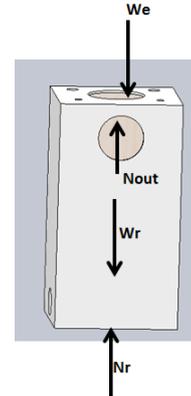
Bomba Manual						
Fb	Ntb2	Nb2	Wb	Nb	d1	d2
15.472	9.132	1.342	17.658	12.659	0.044	0.036



Reservorio Inferior

$$\sum F = N_r + N_{out} - W_r - W_e = 0 \quad N_r = W_r + W_e - N_{out}$$

Reservorio Inferior			
Nr	Wr	We	Nout
6.939	8.277	0.003	1.342



Calculo de Peso total

- Conexiones y Reservorios:
 - Tubería 1.14 Kg
 - Reservorio Superior 1.39 Kg
 - Reservorio Inferior 0.84 Kg
 - Soportes 0.23 Kg
 - Peso total 3.60Kg

- Base
 - Volumen 285.18 cm³
 - Densidad 2700 Kg/m³
 - Peso 0.77 Kg

- Techo
 - Volumen 211.11 cm³
 - Densidad 2700 Kg/m³
 - Peso 0.57 Kg

- Paredes
 - Cara lateral 282.22.cm³
 - Cara frontal 291.62 cm³
 - Cara posterior 201.78 cm³
 - Cara de Mantenimiento 57.79 cm³
 - Puerta 107.32 cm³
 - Densidad 2700 Kg/m³
 - Peso 2.54 Kg

- Columna
 - Cantidad 4
 - Volumen c/u 102.54 cm³
 - Densidad 7850 Kg/m³
 - Peso Total 3.22 Kg

- Columna Generador
 - Volumen 204.31 cm³
 - Densidad 7850 Kg/m³
 - Peso 1.60 Kg

- Columna Bomba
 - Volumen 265.6 cm³
 - Densidad 7850 Kg/m³
 - Peso 2.08 Kg

- Válvulas y Dosificadores:
 - Válvula Química 0.01 Kg (x2)
 - Electro Válvulas 0.20 Kg (x3)
 - Dosificador 0.11 Kg (x2)
 - Válvula de Alivio 0.90 Kg
 - Peso total 1.63 Kg

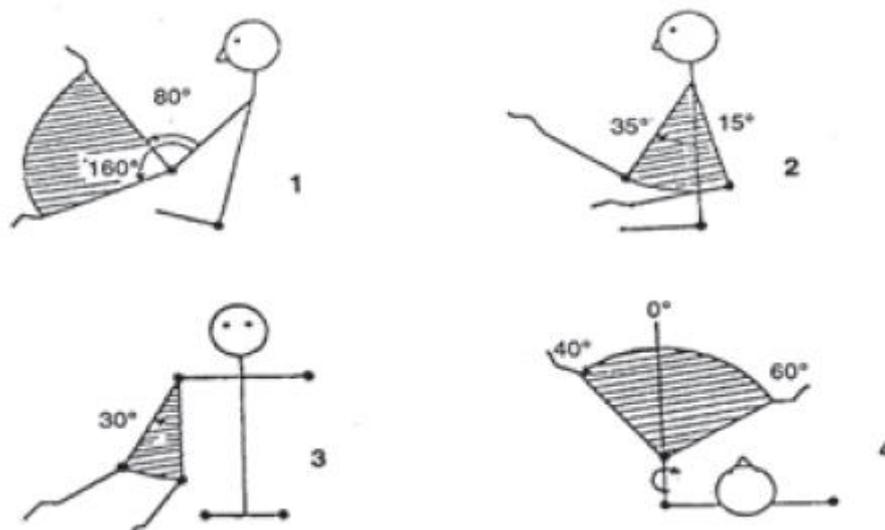
- Engranajes:
 - Engranaje Superior 60.47 cm³
 - Engranaje Inferior 13.19 cm³
 - Densidad 7870 Kg
 - Peso total 0.57 Kg

- Accesorios:
 - Caudalímetro 0.36 Kg
 - Filtro 0.70 Kg
 - Sensor de PH 0.15 Kg
 - Peso total 1.21 Kg

	Masa	
	Kg	Observaciones
W conexiones	3.60	Tubería, reservorios y elementos de unión
W base	0.77	Base inferior
W techo	0.57	Base superior
W paredes	2.54	Paredes
W columna	3.22	Columna de paredes
W columna-generador	1.60	Columna del generador
W columna-bomba	2.08	Columna que soporta la bomba
W válvulas	1.63	Electro Válvulas
W generador	1.80	Generador eléctrico
W bomba	1.80	Bomba manual
W engranajes	0.57	Engranajes
W accesorios	1.21	Caudalímetros, filtros y sensor de PH

Peso Total **19.59 Kg**

F. Ergonomía



Según los ángulos de confort [16], se toma 80° con respecto al número 4 de la imagen.... Se tiene, además, que la longitud del codo está en el rango:

Hombres: 32.7 – 38.9 cm

Mujeres: 29.2 -36.4 cm

Dimensiones en cm	PERCENTIL					
	HOMBRES			MUJERES		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
11. ALTURA SENTADO (TRONCO Y CABEZA)	84,9	90,7	96,2	80,5	85,7	91,4
12. ALTURA DE LOS OJOS RESPECTO DE LA SILLA	73,9	79,0	84,4	68,0	73,5	78,5
13. ALTURA DEL CODO A LA SUPERFICIE DE LA SILLA	19,3	23,0	28,0	19,1	23,3	27,8
14. LARGO DE LA PIERNA (INCLUYENDO EL PIE)	39,9	44,2	48,0	35,1	39,5	43,4
15. LONGITUD DEL CODO AL EJE DE AGARRE	32,7	36,2	38,9	29,2	32,2	36,4
16. PROFUNDIDAD DEL ASIENTO	45,2	50,0	55,2	42,6	48,4	53,2
17. LONGITUD NALGA RODILLA	55,4	59,9	64,5	53,0	58,7	63,1
18. LONGITUD NALGA PIERNA	96,4	103,5	112,5	95,5	104,4	112,6
19. GROSOR SUPERIOR DEL MUSLO	11,7	13,6	15,7	11,8	14,4	17,3
20. ANCHO ENTRE CODOS	39,9	45,1	51,2	37,0	45,6	54,4
21. ANCHO DE LA CADERA SENTADO	32,5	36,2	39,1	34,0	38,7	45,1

Para tener un rango de ángulo de 80°

$$D = 2 * L * \text{sen}(40^\circ)$$

Donde:

D: diametro de la manivela

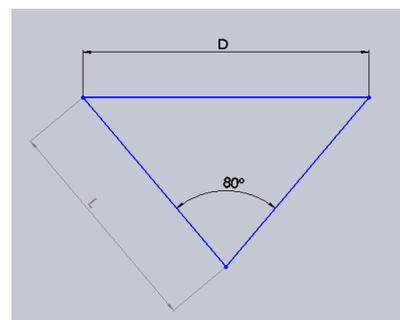
L: longitud del codo.

Entonces D estaría en el siguiente rango

Hombres: 42.03 -50 cm

Mujeres: 37.5 – 46.7 cm

D=37.5 cm



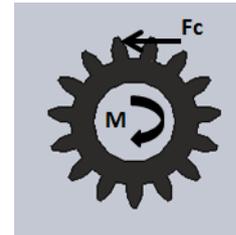
G. Generación de energía

Si se asume que la persona gira la manivela a 80RPM:

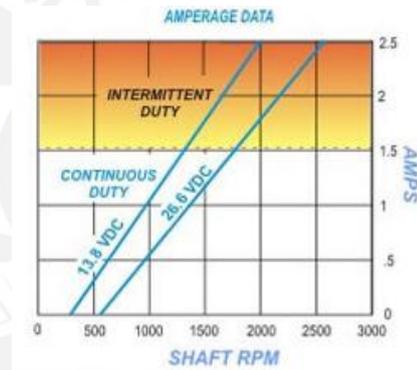
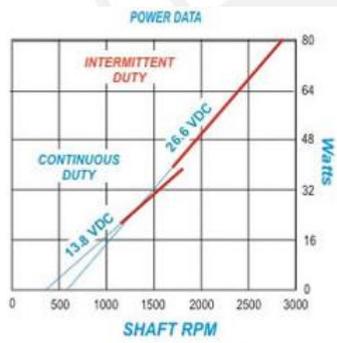
$W_{in} * Z = W_g * z$ Siendo Z el número de dientes. Z=120 y z=15
 $W_{in}=80 \text{ RPM}$ $W_g= 640\text{RPM}$

$\sum M_o = 0 \quad Fc * r - M - Mt = 0$

Siendo
 r: radio del engranaje inferior
 Mt: Torque de inicio del generador
 M: Torque resultante
 Fc: Fuerza de contacto entre engranajes



De acuerdo a la gráfica de RPM vs Amp del generador

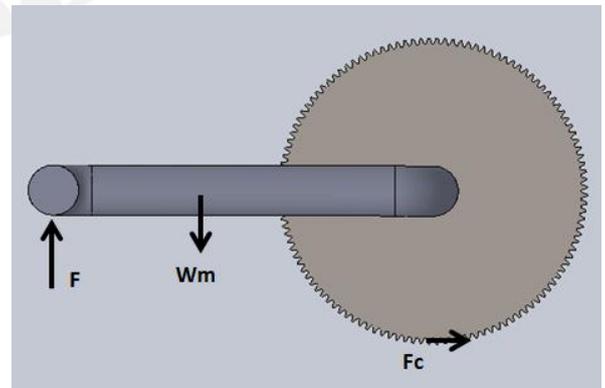


<http://windstreampower.com/>

r= 8.4 mm
 Mt=0.0585 Nm
 Potencia según RPM en la gráfica
 $M \cdot W_g = 3.2 \text{ watts}$ y una eficiencia del 75%, $M=0.0636 \text{ N.m}$
 $F_c=14.53\text{N}$

$\sum M_o = 0$
 $F * d1 - Fc * R - Wm * d1/2 = 0$

d1= 187.5mm
 R= 60 mm
 $W_m=6.96 \text{ N}$
 $F=8.1296 \text{ N}$



La intensidad de corriente que se produciría a esas condiciones sería:
 $I=0.557 \text{ A}$ (aproximadamente según la gráfica corriente vs RPM) por medio de una velocidad de 80 RPM de la manivela.

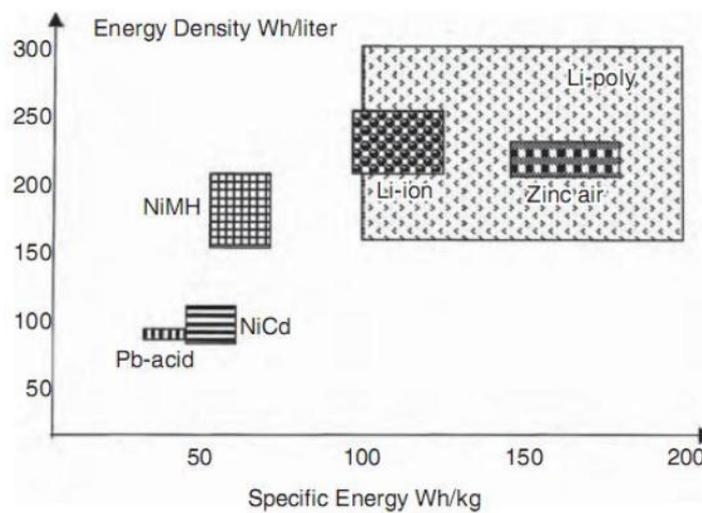
H. Baterías Litio Polímero

Las baterías de Litio Polímero (LIPO) utilizan en su tecnología polímeros sólidos como electrolito con una tensión por celda de 3.7 V. Tienen entre 5 a 12 veces la densidad de energía de las baterías de Ni-Cd o Ni-Mh; en otros términos, almacenan más energía en una misma masa o son más ligeras a igualdad de capacidad. Comparadas con las baterías de Ni-Cd, son 4 veces más ligeras.

Comparación entre las diferentes tecnologías:

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

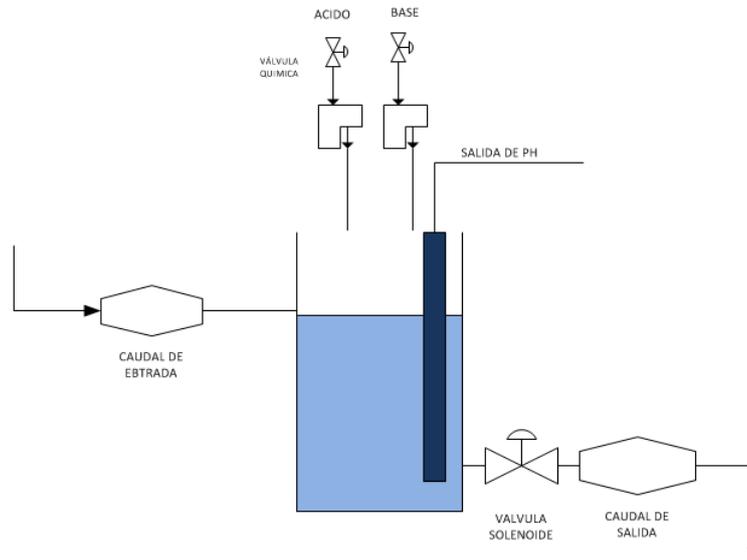
<http://www2.elo.utfsm.cl/>



<http://www2.elo.utfsm.cl/>

I. Control de PH:

Según norma, El PH del agua potable debe estar entre 6.5 y 8.5 para considerarse agua potable; sin embargo, el rango de diseño está destinado a los límites de 7 y 8. Por lo tanto, el control de PH se realizará en 3 fases:



Primera fase:

Se tiene caudal de entrada, pero la Electro válvula inferior está cerrada; por lo tanto, no hay caudal de salida.

Para hallar los volúmenes en rangos de tiempo por medio del caudal de entrada

$$\sum_{i=1}^n Q_i \cdot t = V_{in}$$

Siendo V_{in} el volumen de la primera fase

Siendo t una partición del tiempo de la primera fase. Se toma $t=1ms$ y el tiempo es hasta que el volumen sea mayor a 350ml.

Se halla el valor de PH del agua en dicho instante. Si la solución resulta ser $PH < 6.5$, entonces se ingresa base con el fin de llegar a un PH cercano a 8. Si la solución presenta $PH > 8.5$, entonces se ingresa ácido con el fin de acercarnos al PH de 7.

Se Toma el caso de una solución ácida cuyo $PH < 6.5$:

$$PH = -\log[H^+] = -\log\left(\frac{n_H}{V_{in}}\right)$$

$$n_H = V_{in} 10^{-PH}$$

Se ingresa un volumen V_b de base para amortiguar el PH:

Sea el PH de la base: PH_b

Entonces la concentración de OH sería

$$[OH^-] = 10^{-14+PH_b}$$

$$n_{OH} = V_b \cdot 10^{-14+PH_b}$$

Para llegar a un $PH=8$ básico

$$[OH^-] = 10^{-14+8}$$

$$\frac{n_{OHf}}{V_t} = 10^{-6}$$

$$V_t = V_{in} + V_b$$

Como se neutraliza las moles de H y OH, entonces quedaría de la siguiente manera:

$$n_{OHf} = n_{OH} - n_H = V_b \cdot 10^{-14+PH_b} - V_{in} 10^{-PH} = V_t \cdot 10^{-6}$$

$$V_b = \frac{V_{in}(10^{-PH} + 10^{-6})}{10^{-14+PH_b} - 10^{-6}}$$

El caudal del dosificador básico es 1ml/s; por lo tanto el tiempo que debe actuar sería V_b segundos.

Segunda Fase:

Se tiene caudal de salida y un caudal de entrada.

Se toma el caso de una solución ácida como el caso anterior con un valor de $PH < 6.5$ que ingresará a nuestra solución cuyo PH está entre los límites de diseño obtenidos en la primera fase. Se busca neutralizar directamente dicho ingreso.

$$PH = -\log[H^+] = -\log\left(\frac{n_H}{V_{in}}\right)$$

$$n_H = V_{in} 10^{-PH}$$

Siendo V_o el volumen de ingreso en un tiempo T

Ingresa un volumen V_b de base durante un tiempo t . Esto genera que salga agua en el rango permitido a un caudal de salida e ingrese agua ácida sin tratar a un caudal de entrada. El volumen final queda dado por:

$$V_f = V_{in} + V_o - V_{out} + V_b$$

Las moles de OH serían $n_{OH} = V_b \cdot 10^{-14+PH_b}$

Se quiere llegar a un $PH=8$; por lo tanto $n_{OHf} = V_f \cdot 10^{-14+8}$ y poder neutralizar el ingreso. Para ello, las moles del líquido deben ser igual a las moles de base.

$$n_H = n_{OH} \quad V_{in} \cdot 10^{-PH} = V_b \cdot 10^{14-PH_b}$$

$$V_b = \frac{V_{in} \cdot 10^{-PH}}{10^{14-PH_b}}$$

Como el caudal del dosificador es 1ml/seg, entonces se debe dosificar V_b segundos.

Tercera fase:

Esto ocurre cuando el sensor de flujo deja de indicar el paso de agua. Esto genera el paso de un volumen de agua cuyo PH está fuera del rango permitido; por lo que se debe regular su acidez.

Se tiene un V_{in} que ingresará al contenedor. Esta solución lleva consigo $n_H = V_{in} \cdot 10^{-PH}$. Para que pueda amortiguar el efecto de la entrada, se debe cumplir lo siguiente:

$$n_H = n_{OH} \quad V_{in} \cdot 10^{-PH} = V_b \cdot 10^{14-PH_b}$$

$$V_b = \frac{V_{in} \cdot 10^{-PH}}{10^{14-PH_b}}$$

Neutralización del agua de la lluvia ácida

El PH de la lluvia es ligeramente ácido debido a la presencia de CO₂ en la atmósfera. Esto produce ácido carbónico y el PH puede estar entre 5.6 y 7 [15]. Se considera lluvia ácida cuando su nivel de acidez se encuentra menor a 5.6 debido al exceso de gases contaminantes y no se consideraría agua potable; a pesar de que se hayan filtrado los sedimentos que pudiera tener el agua.

Se tiene el siguiente escenario:

Se tiene 10L de agua recogida en un pozo que sufrió las consecuencias de la lluvia ácida. La acidez del agua de pozo es de 4.5.

Se trabajará a un caudal de 4L/min. Esto implica que se haya girado la manivela de la bomba 16 veces en 1 min.

Primero, se debe llenar 350ml en el reservorio inferior que sería 5.25 s.

Luego, se regula a partir del ingreso de agente básico en la solución a partir de la siguiente relación:

$$V_b = \frac{V_{in}(10^{-PH} + 10^{-6})}{10^{-14+PH_b} - 10^{-6}}$$

El PH de la base (PH_b) es 12 y el PH de ingreso es 5; entonces el V_b=1.14ml. Esto implica que dosificador funcione 1.14 s.

Luego ingresa ácido a un caudal de 4L/min =66ml/s

La solución que se tiene está purificada con respecto a los límites permisibles de acidez; entonces el nuevo ingreso debe ser neutralizado.

Se neutraliza el ácido que ingresa igualando las moles de ácido y base.

$$n_H = n_{OH} \quad V_{in} \cdot 10^{-PH} = V_b \cdot 10^{14-PH_b}$$

$$V_b = \frac{V_{in} \cdot 10^{-PH}}{10^{14-PH_b}}$$

Para un V_{in} =66ml se necesita un volumen de base de 0.208 ml; lo cual implica que para 10L se necesita 30,4ml de base. En total se usaría 31,54 ml.

Esto representa, como analogía, que 1 L de base podría purificar 317.30 cuyo PH sea el valor de 5.

Tiempo total de respuesta: 35.65 s.

J. Evaluación de Caudales

Se tiene los siguientes valores:

PHb	13	PH del agente básico (Lejía)
PHa	2	PH del agente ácido (vinagre)

Se toma a manera de ejemplo las fuentes de lluvia ácida (PH=4.5) y agua alcalina (PH=9.5).

	Min	Max	
PH	4.4	9.5	
Caudal	1.2	5	L/min

Volumen: 1L

PH min=4.5

Primera Etapa		Qmin	Qmax	
Tiempo en llenar		17.5	4.2	seg
Tiempo del dosificador		0.11	0.11	seg
Segunda Etapa				
Tiempo en circular		25	6	seg
Tiempo del dosificador		0.16	0.16	seg
Tercera Etapa				
Tiempo		7.5	1.8	seg
Tiempo del dosificador		0.05	0.05	seg
Tiempo Total		0.839	0.205	min

PH max=9.5

Primera Etapa		Qmin	Qmax	
Tiempo en llenar		17.5	4.2	seg
Tiempo del dosificador		1.11	1.11	seg
Segunda Etapa				
Tiempo en circular		25	6	seg
Tiempo del dosificador		1.58	1.58	seg
Tercera Etapa				
Tiempo		7.5	1.8	seg
Tiempo del dosificador		0.47	0.47	seg
Tiempo Total		0.886	0.253	min

Volumen: 10L

PH min=4.5

Primera Etapa	Qmin	Qmax	
Tiempo en llenar	17.5	4.2	seg
Tiempo del dosificador	0.11	0.11	seg

Segunda Etapa			
Tiempo en circular	475	114	seg
Tiempo del dosificador	3.00	3.00	seg

Tercera Etapa			
Tiempo	7.5	1.8	seg
Tiempo del dosificador	0.05	0.05	seg

Tiempo Total	8.386	2.053	min
--------------	-------	-------	-----

PH max=9.5

Primera Etapa	Qmin	Qmax	
Tiempo en llenar	17.5	4.2	seg
Tiempo del dosificador	1.11	1.11	

Segunda Etapa			
Tiempo en circular	475	114	seg
Tiempo del dosificador	30.04	30.04	seg

Tercera Etapa			
Tiempo	7.5	1.8	seg
Tiempo del dosificador	0.47	0.47	

Tiempo Total	8.860	2.527	min
--------------	-------	-------	-----