

ANEXO 1

DATOS MOLINO SAG – PROYECTO TOROMOCHO

El sistema de control distribuido (System800xA) del Proyecto Toromocho proporciona el set de entrenamiento y el set prueba utilizado por la red neuronal. A continuación se detallan los valores de presión, velocidad, impactos y tonelaje registrados durante el comisionamiento del molino. Adicionalmente, cada set de datos está asociado a un nivel de carga en particular determinado durante los “Crush Stop” realizados. Finalmente, las muestras de datos son realizadas cada 12 minutos durante dos días de operación del molino.

1. Data: Set de Entrenamiento

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
08/03/2013 07:50	7470.084961	-9.399644	29.929611	5781.429688	21.3
08/03/2013 08:02	7472.683105	-9.40029	30.205029	5774.80127	21.2
08/03/2013 08:14	7475.757813	-9.399649	30.60441	5789.108887	21.5
08/03/2013 08:26	7466.157715	-9.4001	27.781668	5774.869629	21.3
08/03/2013 08:38	7489.330566	-9.399586	32.148907	5768.94873	21.4
08/03/2013 08:50	7503.308594	-9.41434	35.294125	5738.035156	21.1
08/03/2013 09:02	7519.09375	-9.40509	29.998196	5255.479004	21.5
08/03/2013 09:14	7492.842773	-8.992697	41.395458	3459.79541	20.9
08/03/2013 09:26	7480.166504	-8.972117	59.864456	3244.53125	20.3
08/03/2013 09:38	7492.638672	-7.067749	182.535461	2567.483398	20.1
08/03/2013 09:50	7613.81543	-8.243159	14.655429	3072.186279	21.2
08/03/2013 10:02	7600.599121	-8.75225	35.22971	3356.039795	21.5
08/03/2013 10:14	7640.280273	-8.842056	29.224802	3330.195068	21.3
08/03/2013 10:26	7626.237305	-9.163171	36.96286	3444.298828	21.5
08/03/2013 10:38	7605.757813	-9.167478	47.795483	3435.833252	21.4
08/03/2013 10:50	7618.513184	-9.106006	32.262337	3462.589111	21.6
08/03/2013 11:02	7642.740723	-8.941463	17.02157	3290.595703	21.5
08/03/2013 11:14	7572.094238	-8.904818	35.456261	2723.773926	21
08/03/2013 11:26	7541.342773	-8.683683	33.621033	2766.379395	21.3
08/03/2013 11:38	7548.737793	-8.633547	45.062744	2809.916992	21.4
08/03/2013 11:50	7540.499023	-8.600272	29.814751	2845.752686	21.6
08/03/2013 12:02	7514.758301	-8.555873	152.409348	2852.492676	21
08/03/2013 12:14	7538.295898	-7.956466	191.800278	2923.903564	20.9
08/03/2013 12:26	7661.368164	-7.602949	12.859733	2902.894287	21
08/03/2013 12:38	7751.391602	-7.861882	11.534079	2884.080566	21.6
08/03/2013 12:50	7791.729004	-8.199992	9.448676	2906.879639	21.4
08/03/2013 13:02	7709.716797	-8.200402	8.938241	3110.666016	21.7
08/03/2013 13:14	7729.529785	-8.256783	7.858628	4014.889404	21.6

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
08/03/2013 13:26	7774.882324	-8.781337	8.147122	4785.983398	21.9
08/03/2013 13:38	7778.168945	-9.275026	12.368803	5018.393066	22.4
08/03/2013 13:50	7778.474121	-9.489756	22.51926	5010.135254	22.2
08/03/2013 14:02	7751.513672	-9.50053	27.70212	5002.055664	22.2
08/03/2013 14:14	7710.503906	-9.500093	34.209747	5142.636719	21.8
08/03/2013 14:26	7666.135742	-9.518847	51.645458	5120.811523	21.9
08/03/2013 14:38	7581.400391	-9.483377	52.112278	4899.881348	22
08/03/2013 14:50	7513.412109	-9.481829	49.409897	5038.980469	22.2
08/03/2013 15:02	7499.03418	-9.467055	52.815823	5103.753418	22.4
08/03/2013 15:14	7529.910156	-9.435759	59.263699	5008.273926	21.8
08/03/2013 15:26	7568.803711	-9.443618	76.931282	5059.350098	21.3
08/03/2013 15:38	7587.218262	-9.403807	60.469563	5099.788086	21.5
08/03/2013 15:50	7699.59375	-9.492014	30.901756	5045.837891	22
08/03/2013 16:02	7671.62793	-9.48063	31.054337	4800.871582	22.3
08/03/2013 16:14	7591.132324	-9.284509	39.315739	4713.849121	22.5
08/03/2013 16:26	7586.004883	-9.250508	17.005833	5075.042969	22.7
08/03/2013 16:38	7546.123047	-9.250151	19.563366	5148.568848	22.3
08/03/2013 16:50	7543.714355	-9.249715	21.078335	5139.522949	22.6
08/03/2013 17:02	7524.39209	-9.261795	23.596176	5170.194336	22.5
08/03/2013 17:14	7534.465332	-9.278967	28.11985	5122.232422	22.3
08/03/2013 17:26	7538.95166	-9.250548	26.212343	5105.518555	22.2
08/03/2013 17:38	7515.528809	-9.250175	22.768869	5158.906738	22.5
08/03/2013 17:50	7486.316406	-9.250301	24.72086	5173.922363	22.7
08/03/2013 18:02	7466.116211	-9.249955	24.29537	5204.066406	22.4
08/03/2013 18:14	7448.283691	-9.244228	27.424076	4909.89209	22.9
08/03/2013 18:26	7444.996094	-8.902669	29.592346	4712.055664	22.7
08/03/2013 18:38	7460.578613	-8.894635	20.491503	4722.102051	22.4
08/03/2013 18:50	7417.858887	-8.90003	24.424505	4699.625977	22.1
08/03/2013 19:02	7402.842773	-8.899885	31.99827	4712.192871	22.8
08/03/2013 19:14	7421.499023	-8.89994	33.067913	4698.405273	22.7
08/03/2013 19:26	7437.621582	-8.900217	24.648214	4684.592773	22.8
08/03/2013 19:38	7442.045898	-8.899913	19.961639	4678.616211	22.6
08/03/2013 19:50	7469.247559	-8.899532	23.791676	4671.595703	22.8
08/03/2013 20:02	7463.918457	-8.900166	33.38224	4698.22168	22.9
08/03/2013 20:14	7472.963867	-8.899848	30.76948	4757.469727	22.8
08/03/2013 20:26	7494.002441	-8.899961	21.036934	4922.617676	23
08/03/2013 20:38	7513.866699	-8.89998	20.082729	4929.599121	23.1
08/03/2013 20:50	7563.818359	-9.077383	23.731661	5026.980469	23
08/03/2013 21:02	7611.572754	-9.243983	28.73196	5150.974609	23.5
08/03/2013 21:14	7653.675781	-9.282351	30.797836	5297.197754	23.4
08/03/2013 21:26	7672.45166	-9.328848	25.852793	5349.299316	23.1
08/03/2013 21:38	7732.384277	-9.482464	29.589254	5265.129395	23
08/03/2013 21:50	7691.604004	-9.5568	42.89764	5308.069336	23

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
08/03/2013 22:02	7676.488281	-9.5875	80.194984	5292.018555	23.5
08/03/2013 22:14	7678.922852	-9.600291	74.282585	5369.489746	23.4
08/03/2013 22:26	7629.144043	-9.599799	77.885864	5257.234863	23
08/03/2013 22:38	7602.910645	-9.581985	106.872612	5246.997559	23.5
08/03/2013 22:50	7615.731445	-9.574524	98.811592	5272.87207	23.1
08/03/2013 23:02	7636.131836	-9.533677	73.728905	5234.069336	23.3
08/03/2013 23:14	7679.65918	-9.600043	61.877026	5338.260742	23.4
08/03/2013 23:26	7652.12207	-9.600408	67.133606	5467.600586	23.1
08/03/2013 23:38	7652.994629	-9.5997	68.507874	5509.652832	23.5
08/03/2013 23:50	7621.117676	-9.584611	65.402672	5587.250977	23.3
09/03/2013 00:02	7630.361816	-9.58009	62.642914	5598.860352	23.4
09/03/2013 00:14	7626.202148	-9.577741	55.28529	5594.330566	23.5
09/03/2013 00:26	7594.231934	-9.556022	57.276211	5596.537598	23.6
09/03/2013 00:38	7628.212402	-9.533657	47.115795	5594.016602	23.3
09/03/2013 00:50	7724.152344	-9.558059	31.094252	5602.791016	23.7
09/03/2013 01:02	7775.892578	-9.588313	26.681135	5596.639648	23.8
09/03/2013 01:14	7711.457031	-9.591661	41.754646	5597.699707	23.7
09/03/2013 01:26	7675.119629	-9.55567	40.032379	5601.16748	23.4
09/03/2013 01:38	7661.30127	-9.527939	34.576637	5594.325684	23.4
09/03/2013 01:50	7615.468262	-9.523852	43.15271	5592.775879	23.4
09/03/2013 02:02	7591.460449	-9.49736	41.22559	5597.959473	23.7
09/03/2013 02:14	7542.711914	-9.429419	28.750662	5600.027832	23.8
09/03/2013 02:26	7550.361328	-9.379461	23.389904	5599.535156	23.7
09/03/2013 02:38	7494.533691	-9.340561	26.362682	5599.640137	23.9
09/03/2013 02:50	7473.961426	-9.254605	26.712605	5599.277344	23.7
09/03/2013 03:02	7458.515625	-9.247577	27.12191	5595.854004	23.8
09/03/2013 03:14	7452.759277	-9.200601	18.761227	5602.800293	23.7
09/03/2013 03:26	7442.235352	-9.200224	19.824072	5655.938477	23.6
09/03/2013 03:38	7430.077148	-9.199746	29.229378	5698.888672	23.6
09/03/2013 03:50	7422.006836	-9.19971	30.032223	5700.490234	23.5
09/03/2013 04:02	7435.596191	-9.199434	22.243683	5764.773926	23.5
09/03/2013 04:14	7429.609375	-9.199639	20.2493	5747.126465	23.4
09/03/2013 04:26	7416.60498	-9.200009	26.733007	5739.923828	23.5
09/03/2013 04:38	7402.455078	-9.20013	27.904184	5775.899414	23.2
09/03/2013 04:50	7404.917969	-9.166783	24.34478	5838.36377	23.2
09/03/2013 05:02	7410.459473	-9.082741	20.364298	5792.665039	23.1
09/03/2013 05:14	7393.556152	-9.079821	22.896439	5794.144531	23
09/03/2013 05:26	7386.295898	-9.042468	23.67173	5867.200684	23
09/03/2013 05:38	7394.609375	-8.999955	22.041151	5910.15332	23
09/03/2013 05:50	7413.25	-9.000092	18.453455	5912.730957	22.8
09/03/2013 06:02	7404.87793	-8.999695	21.241411	5886.016602	22.9
09/03/2013 06:14	7406.246094	-8.99514	21.393515	5891.708984	22.4
09/03/2013 06:26	7414.432129	-8.988882	21.221535	5908.668945	22.8

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
09/03/2013 06:38	7425.777344	-8.997645	18.471786	5899.226563	22.8
09/03/2013 06:50	7430.787598	-9.000134	18.366562	5905.525391	22.7
09/03/2013 07:02	7411.536133	-8.999779	19.023048	5897.20166	22.8
09/03/2013 07:14	7424.564941	-9.01263	21.62285	5869.156738	22.9
09/03/2013 07:26	7454.263672	-9.04972	19.415735	5829.269043	22.6
09/03/2013 07:38	7473.716309	-9.049893	18.670816	5783.205078	22.7
09/03/2013 07:50	7507.799805	-9.065368	17.31138	5717.57666	22.4

2. Data: Set de Prueba

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
09/03/2013 08:02	7570.044922	-9.154227	16.899843	5752.455078	22.9
09/03/2013 08:14	7581.878906	-9.256276	22.603928	5754.351074	22.9
09/03/2013 08:26	7613.493164	-9.264078	16.977247	5741.610352	22.7
09/03/2013 08:38	7630.763672	-9.250114	16.99337	5617.11377	22.8
09/03/2013 08:50	7659.680664	-9.275322	20.11935	5247.965332	23
09/03/2013 09:02	7651.254395	-9.005866	15.112588	4558.991211	23
09/03/2013 09:14	7537.825195	-9.138382	19.094023	4891.266602	23
09/03/2013 09:26	7462.907715	-9.468241	32.478947	5410.227051	22.5
09/03/2013 09:38	7410.954102	-9.599674	37.599419	5802.390137	22.9
09/03/2013 09:50	7407.015625	-9.600032	35.615612	6013.257324	22.3
09/03/2013 10:02	7447.579102	-9.59978	42.449005	6059.380859	22.4
09/03/2013 10:14	7517.900391	-9.59948	52.314266	6066.274414	22.6
09/03/2013 10:26	7600.284668	-9.598702	94.318428	5887.839844	23
09/03/2013 10:38	7644.546387	-9.600676	72.704796	5953.512207	23.5
09/03/2013 10:50	7593.960938	-9.553505	50.9725	5990.250977	23.6
09/03/2013 11:02	7549.331055	-9.544968	38.771786	6104.587402	23.6
09/03/2013 11:14	7550.262695	-9.467633	32.752159	6056.916504	23.5
09/03/2013 11:26	7507.626465	-9.441088	29.826429	5873.257813	23.3
09/03/2013 11:38	7502.686035	-9.404174	30.771252	5788.652832	23.3
09/03/2013 11:50	7499.005859	-9.355007	32.904377	5786.950684	23.4
09/03/2013 12:02	7502.375488	-9.238126	29.254175	5798.076172	23.5
09/03/2013 12:14	7524.289063	-9.200037	21.762459	5925.571289	23.7
09/03/2013 12:26	7529.170898	-9.199768	20.702875	6030.057617	23.9
09/03/2013 12:38	7547.370117	-9.200333	17.759317	6028.418945	24.1
09/03/2013 12:50	7557.311035	-9.183886	17.695423	5943.679688	24.5
09/03/2013 13:02	7612.498535	-9.107696	17.360289	5836.901855	24.3
09/03/2013 13:14	7688.791016	-9.297814	19.411362	5804.362305	24.4
09/03/2013 13:26	7642.969238	-9.447764	45.288406	5756.012695	24.3
09/03/2013 13:38	7624.23877	-9.494184	52.327152	5835.178223	24.4

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
09/03/2013 13:50	7569.033203	-9.455222	54.277195	5865.285645	24.1
09/03/2013 14:02	7556.491699	-9.316151	34.064598	5607.642578	24.2
09/03/2013 14:14	7581.770996	-9.006186	15.292912	5174.375488	24.3
09/03/2013 14:26	7585.494629	-8.899946	14.223601	5003.990234	24.4
09/03/2013 14:38	7588.129883	-8.811069	15.397858	5113.858887	24.1
09/03/2013 14:50	7619.701172	-8.652559	12.769485	5541.140625	24.5
09/03/2013 15:02	7700.449219	-8.451414	7.855118	6039.827637	24.3
09/03/2013 15:14	7846.449219	-8.522639	6.14108	6017.09375	24.8
09/03/2013 15:26	7812.853516	-8.736026	7.209402	6037.611816	25
09/03/2013 15:38	7790.922852	-8.527492	6.12005	6053.630371	24.9
09/03/2013 15:50	7899.404297	-8.53059	4.27845	6074.058105	25
09/03/2013 16:02	8034.14209	-8.720356	3.992412	6064.570313	25.4
09/03/2013 16:14	8049.970215	-8.824654	4.780845	6123.652832	25.6
09/03/2013 16:26	7956.713867	-8.695879	4.719217	6178.674316	25.5
09/03/2013 16:38	7875.774414	-8.461117	5.177606	6118.685547	25.5
09/03/2013 16:50	7849.004395	-8.376428	7.061675	6051.259277	25.3
09/03/2013 17:02	7892.540527	-8.332958	4.768754	5934.397949	25.6
09/03/2013 17:14	7965.484375	-8.32284	3.462259	5836.29541	25.4
09/03/2013 17:26	8045.587891	-8.264791	2.183196	5824.623047	25.8
09/03/2013 17:38	8182.540527	-8.30986	2.109935	5825.54248	25.8
09/03/2013 17:50	8361.017578	-8.374463	1.46224	5824.498535	25.8
09/03/2013 18:02	8424.222656	-8.642644	1.609672	5822.526367	26
09/03/2013 18:14	8369.546875	-8.680588	1.889322	5776.830078	25.8
09/03/2013 18:26	8193.433594	-8.549606	3.01005	5762.736816	25.7
09/03/2013 18:38	8074.916992	-8.401016	2.859359	5792.712402	25.8
09/03/2013 18:50	8016.671387	-8.400786	3.375301	5802.058105	25.5
09/03/2013 19:02	7991.806152	-8.399215	2.909365	5823.691895	25.3
09/03/2013 19:14	8019.736328	-8.400674	3.272929	5793.42334	25
09/03/2013 19:26	8153.689453	-8.529442	2.534674	5801.226563	24.5
09/03/2013 19:38	8216.161133	-8.815104	2.446652	5781.486816	24.2
09/03/2013 19:50	8019.416992	-8.949664	5.948205	5793.614746	23.2
09/03/2013 20:02	7743.291992	-8.892467	9.652503	5837.618652	22.5
09/03/2013 20:14	7672.679688	-8.840141	10.081423	5904.313477	22.4
09/03/2013 20:26	7671.836914	-8.802446	7.717485	5911.459473	22.7
09/03/2013 20:38	7696.317871	-8.806808	8.295887	5926.601563	23
09/03/2013 20:50	7658.160645	-8.799951	8.956735	5938.859863	23
09/03/2013 21:02	7658.116211	-8.800115	9.113001	5927.832031	22.7
09/03/2013 21:14	7630.067871	-8.790077	12.018485	5867.714844	22.6
09/03/2013 21:26	7615.794434	-8.760719	12.244823	5868.898438	22.7
09/03/2013 21:38	7633.547852	-8.791814	12.618527	5897.121582	22.8

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
09/03/2013 21:50	7595.616699	-8.783814	13.911526	5945.55127	22.3
09/03/2013 22:02	7592.047852	-8.760846	15.149951	5907.879883	22.5
09/03/2013 22:14	7594.894043	-8.751534	14.729353	5920.512207	22.6
09/03/2013 22:26	7588.547852	-8.750208	14.263721	5935.30127	22.6
09/03/2013 22:38	7576.775879	-8.750067	13.853426	5904.334961	22.4
09/03/2013 22:50	7566.34082	-8.746265	16.511112	5875.888672	22.4
09/03/2013 23:02	7572.430664	-8.73007	14.063329	5870.382813	22.4
09/03/2013 23:14	7579.125488	-8.729791	14.593384	5855.569824	22.3
09/03/2013 23:26	7589.946289	-8.729409	13.406364	5837.098145	22.4
09/03/2013 23:38	7588.113281	-8.720029	13.402878	5838.287598	22.4
09/03/2013 23:50	7590.95166	-8.719963	12.360824	5810.37207	22.6
10/03/2013 00:02	7587.135254	-8.709899	12.171854	5775.568359	22.2
10/03/2013 00:14	7587.349609	-8.710017	9.883497	5798.626953	22.4
10/03/2013 00:26	7605.816895	-8.756325	10.056904	5838.98291	22.3
10/03/2013 00:38	7604.359375	-8.7902	9.364439	5831.161133	22.2
10/03/2013 00:50	7617.944824	-8.839055	10.203532	5810.149902	22.3
10/03/2013 01:02	7600.135254	-8.870358	11.169336	5860.099609	22.4
10/03/2013 01:14	7597.365234	-8.869738	10.47416	5890.280273	22.3
10/03/2013 01:26	7588.70752	-8.855712	10.901071	5877.345703	22.3
10/03/2013 01:38	7581.37793	-8.819401	12.414293	5902.432129	22.4
10/03/2013 01:50	7576.582031	-8.802694	12.86411	5906.682617	22.3
10/03/2013 02:02	7566.378418	-8.782448	11.221585	5861.65918	22.2
10/03/2013 02:14	7562.915039	-8.769749	12.894107	5840.755371	22.2
10/03/2013 02:26	7577.297363	-8.77007	11.176403	5847.899414	22
10/03/2013 02:38	7572.716309	-8.769856	11.665689	5875.042969	22
10/03/2013 02:50	7559.431641	-8.765073	13.32479	5885.382324	21.4
10/03/2013 03:02	7552.787598	-8.74196	14.404255	5877.172852	21.9
10/03/2013 03:14	7553.299316	-8.740083	13.261837	5867.623047	21.9
10/03/2013 03:26	7563.176758	-8.74004	13.669466	5844.140137	22
10/03/2013 03:38	7548.265625	-8.739887	13.315757	5828.796387	22
10/03/2013 03:50	7539.449707	-8.7328	15.285975	5844.879395	21.8
10/03/2013 04:02	7561.943848	-8.72983	14.499899	5823.585449	21.8
10/03/2013 04:14	7584.373535	-8.729977	11.794373	5835.77002	21.9
10/03/2013 04:26	7585.594238	-8.740006	12.274433	5824.526367	21.9
10/03/2013 04:38	7581.423828	-8.739843	11.118975	5914.67334	21.9
10/03/2013 04:50	7552.050293	-8.740125	16.002222	5972.088379	21.7
10/03/2013 05:02	7532.065918	-8.740027	17.977608	5724.742676	21.3
10/03/2013 05:14	7534.595703	-8.740091	13.503976	5690.895996	21.7
10/03/2013 05:26	7521.162598	-8.740283	14.696147	5607.441895	21.8
10/03/2013 05:38	7497.470215	-8.740067	18.301355	5715.95459	21.7

TIEMPO	Presión PIT001 (kPa)	Velocidad SIT001 (rpm)	Impactos IIT001 (#)	Tonelaje WIT001 (ton)	Nivel (%)
10/03/2013 05:50	7494.124512	-8.740097	17.004948	5835.751465	21.8
10/03/2013 06:02	7524.800293	-8.740107	13.715889	5900.553223	21.6
10/03/2013 06:14	7521.034668	-8.739976	13.51942	5882.842773	21.9
10/03/2013 06:26	7494.17334	-8.73988	16.3927	5880.862305	21.7
10/03/2013 06:38	7500.747559	-8.739942	16.239578	5879.852539	21.8
10/03/2013 06:50	7507.722656	-8.740161	14.605647	5882.779785	21.9
10/03/2013 07:02	7523.904297	-8.721139	15.526761	5872.615723	21.8
10/03/2013 07:14	7564.888672	-8.608427	12.907166	5814.708984	21.9
10/03/2013 07:26	7611.137207	-8.600058	9.146983	5855.166016	22.2
10/03/2013 07:38	7683.933594	-8.608613	7.690603	5872.285156	22
10/03/2013 07:50	7730.732422	-8.620215	7.04103	5889.280273	22.3



ANEXO 2

ESTIMACIÓN DE NIVEL DE CARGA DEL MOLINO

El molino de bolas utilizado por el presente estudio pertenece a MINERA CHINALCO PERU. Asimismo, la data utilizada ha sido obtenida directamente del sistema de control distribuido de la planta. A continuación se detallan las principales características del equipo.

Especificación	Data
Velocidad de molino	9.31 RPM (76% de la velocidad crítica)
Nivel de carga máximo	30%
Nivel de carga mínimo	20%
Presión de operación máxima	9200kPa
Número máximo de impactos	200

Tabla 1. Especificaciones técnicas - Molino

Fuente: Fuller Traylor Grinding Mill – FLS Smith

El estudio presenta los criterios de análisis utilizados por el operador de sala de control a fin de estimar y controlar el nivel de carga del molino. Los criterios se basan en la experiencia del operador y en el análisis de las tendencias históricas de las variables de presión, velocidad, impactos y tonelaje del molino.

I. PRIMER CRITERIO: Presión de operación del molino.

Es el parámetro operativo que nos brinda mayor información sobre el nivel de carga. La presión máxima de operación está relacionada al nivel máximo de carga permitido por el fabricante. Similarmente, niveles mínimos de presión indican que el molino está operando a baja carga. La inducción es bastante lógica, si el mineral permanece acumulado, incrementa el esfuerzo desarrollado durante las revoluciones, y por ende, la presión de desarrollada por el equipo. Según el fabricante la máxima presión de operación permitida es de 9200kPa, presión equivalente a un nivel de carga del 30%.

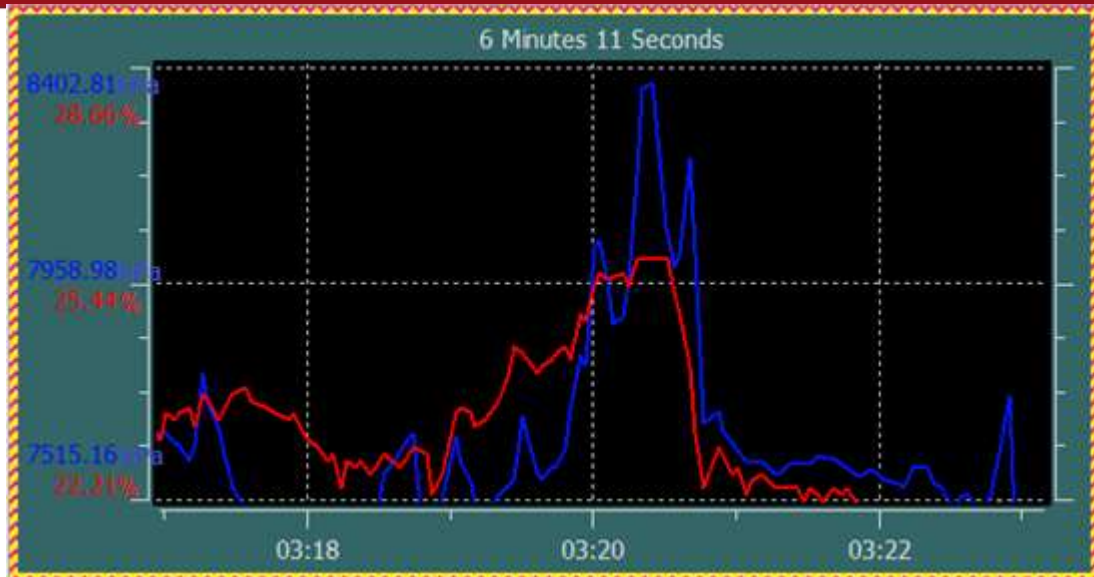


Figura 1. Presión de operación baja (kPa) ■ vs. Nivel de carga (%) ■

Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Presión de operación alta (kPa) ■ vs. Nivel de carga (%) ■

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 2 y 3 muestran la relación existente entre el nivel de carga y la presión desarrollada por el molino durante la operación. En la figura 1 podemos notar que el nivel de carga es bajo (22%) cuando el molino desarrolla presiones de operación mínimas (7500kPa). Similarmente, en la figura 2 notamos que a altas presiones de operación (8500kPa), el nivel de carga registra niveles máximos (29%). El operador de sala de control evalúa los niveles de presión y los relaciona con un nivel de carga en particular.

I. SEGUNDO CRITERIO: Impactos durante la operación.

El nivel de impactos registrados nos indica indirectamente el nivel de carga. Mayor número de impactos indica carga baja en el molino (las bolas impactan mayormente el revestimiento del molino). Menor números de impactos indica alto nivel de carga presente en el molino (existe menor impacto debido a que la bolas colisionan en mayor medida sobre el "riñón" de mineral formado). El impactómetro se calibra con un nivel de carga en particular y para el caso de CHINALCO es un valor de 200 impactos para un nivel de carga del 30%.

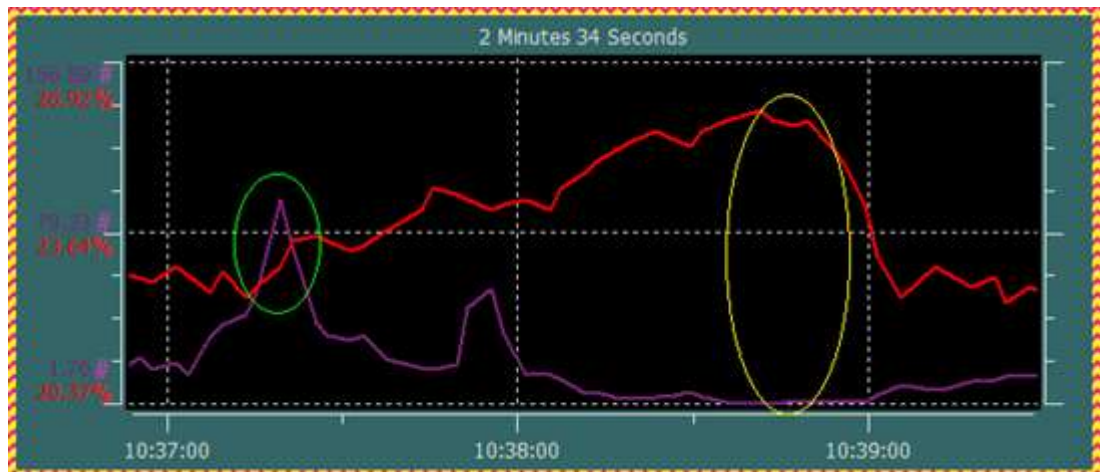


Figura 3. Impactos (#) ■ vs. Nivel de carga (%) ■

Fuente: Elaboración propia

La zona seleccionada en color verde indica que a menor nivel de carga los impactos registran valores pico. Por otro lado, la zona amarilla indica que a niveles máximos de carga, los impactos tienden a ser mínimos. El operador evalúa la cantidad de impactos por minuto y lo asocia a un nivel de carga en particular.

II. TERCER CRITERIO: Velocidad de operación del molino.

Este parámetro nos permite controlar el nivel de carga en el molino. Si aumentamos la velocidad del molino, disminuimos la carga del molino. Si disminuimos la velocidad del molino, aumentamos la carga del molino. Cuando el molino registre nivel de carga máximo, se debe aumentar la velocidad del molino gradualmente hasta que las presiones desarrolladas por el molino empiecen a disminuir. Al disminuir las presiones de operación, por ende disminuirá el nivel de carga en el molino.

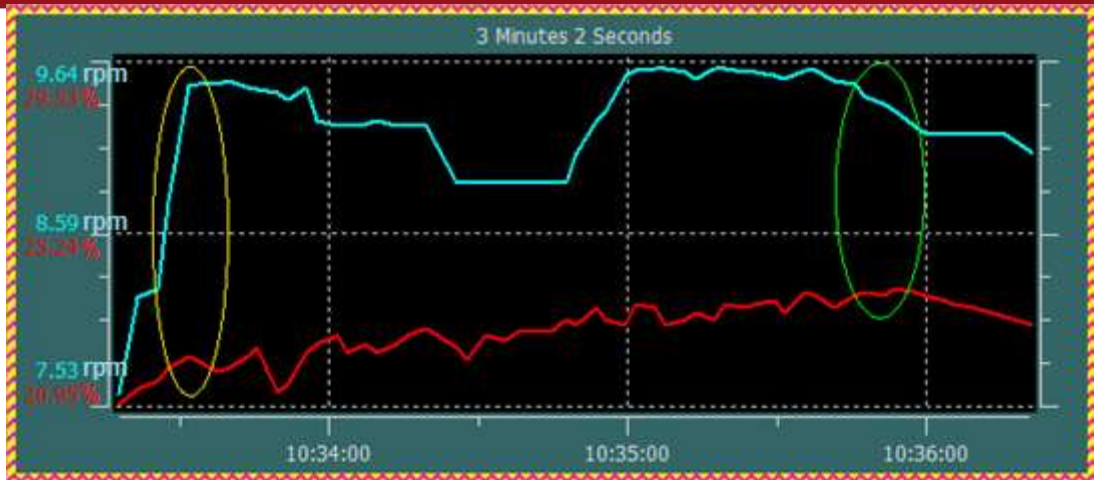


Figura 4. Velocidad del molino (rpm) ■ vs. Nivel de carga (%) ■

Fuente: Elaboración propia

La zona seleccionada en amarillo indica que el nivel de carga disminuye gradualmente a medida que se incrementa la velocidad del molino. Análogamente, la zona de color verde indica que el nivel de carga aumenta a medida que la velocidad de molino disminuye. En resumen, esta técnica permite evitar la saturación del molino. El operador aumenta o disminuye gradualmente la velocidad del para controlar la carga dentro del rango de operación establecido por el fabricante.

III. CUARTO CRITERIO: Tonelaje durante la operación.

Este parámetro nos ayuda a controlar directamente el nivel de carga del molino. Es el último parámetro que se modifica en la operación debido a que afecta directamente la producción. Cuando el molino registre nivel de carga máximo, y se está operando el molino a la velocidad crítica nominal, debe reducirse el tonelaje de la operación, a fin de aliviar las presiones en el molino y por ende disminuir el nivel de carga del molino.

Finalmente, el operador utilizará uno o más criterios a fin de estimar y controlar el nivel de carga. Este conocimiento y experiencia es la información que se le brinda al control neuronal implementado.

ANEXO 3

ALGORITMO NEURONAL SUPERVISADO DE RETROPROPAGACIÓN

Es el método de entrenamiento de redes neuronales de mayor uso hoy en día. Tiene como principal característica la capacidad de autoadaptar los pesos sinápticos de la red, a fin aprender la relación existente entre un conjunto de patrones de entrada y sus salidas correspondientes. Adicionalmente, permite obtener salidas satisfactorias a partir de entradas que el sistema no ha procesado previamente en la fase de entrenamiento. A continuación se detalla el funcionamiento y pasos del algoritmo.

II. Algoritmo de Retropropagación

Es un método de aprendizaje supervisado en el que se distinguen claramente dos etapas. La primera etapa consiste en aplicar un patrón de entrada que se propaga a través de las distintas capas de la red neuronal, hasta producir un valor en la neurona de salida. La salida obtenida se compara con el patrón de salida deseado y se calcula el error final. La segunda etapa consiste en propagar el error final desde la capa de salida hasta las capas internas de la red. Cada neurona recibe un error que es proporcional a su contribución sobre el error total de la red. En base al error recibido, se ajustan los pesos sinápticos de cada neurona.

La red neuronal aprende por ejemplos. Se ingresa patrones de entrenamiento relacionados al comportamiento deseado que se espera para la red. La red ajusta los pesos sinápticos de su estructura de tal manera que cuando el entrenamiento ha finalizado, se obtiene la salida deseada para todos los patrones ingresados. La Figura 1 muestra los patrones de entrenamiento para la red neuronal de la Figura 2.

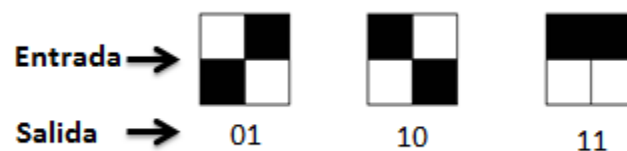


Figura 1. Patrones de entrenamiento

Fuente: Elaboración propia

Si aplicamos el primer patrón a la red, la salida debería ser '01' tal como se muestra en la Figura 2. (Pixel negro representa '1' y pixel blanco representa '0'). Si aplicamos el segundo patrón a la red, la salida debería ser '10' y finalmente si aplicamos el tercer patrón a la red, la salida debería ser '11'. La entrada aplicada y la salida

deseada se denominan par de entrenamiento. Se aplican los patrones de entrenamiento reiterativamente hasta que el error en las neuronas de salida se reduce al mínimo global.

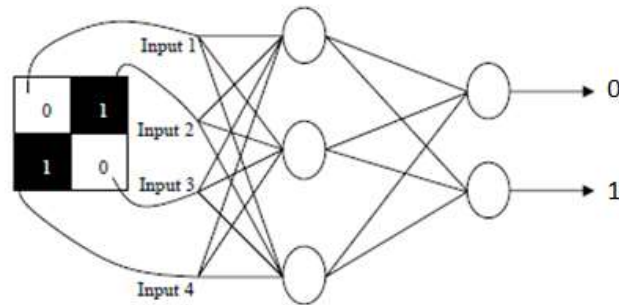


Figura 2. Red Neuronal

Fuente: The Backpropagation algorithm (“Algoritmo de retropropagación”)

III. Aplicación del método

Considere la red neuronal de la Figura 3 para desarrollar los pasos del algoritmo.

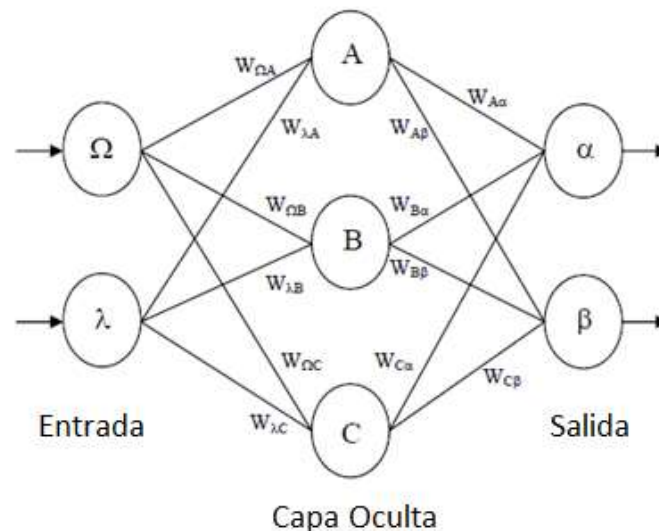


Figura 3. Red Neuronal

Fuente: The Backpropagation algorithm (“Algoritmo de retropropagación”)

PASO 1: Calcular el error en las neuronas de salida.

$$\delta_{\alpha} = out_{\alpha} (1 - out_{\alpha}) (Target_{\alpha} - out_{\alpha})$$

$$\delta_{\beta} = out_{\beta} (1 - out_{\beta}) (Target_{\beta} - out_{\beta})$$

Nota: El término $out_{\alpha} * (1 - out_{\alpha})$ es debido a la función de activación “Sigmoid”.

PASO 2: Actualizar los pesos en la capa de salida.

$$\begin{aligned} W_{A\alpha}^+ &= W_{A\alpha} + \eta \delta_{\alpha} \text{out}_A & W_{A\beta}^+ &= W_{A\beta} + \eta \delta_{\beta} \text{out}_A \\ W_{B\alpha}^+ &= W_{B\alpha} + \eta \delta_{\alpha} \text{out}_B & W_{B\beta}^+ &= W_{B\beta} + \eta \delta_{\beta} \text{out}_B \\ W_{C\alpha}^+ &= W_{C\alpha} + \eta \delta_{\alpha} \text{out}_C & W_{C\beta}^+ &= W_{C\beta} + \eta \delta_{\beta} \text{out}_C \end{aligned}$$

PASO 3: Calcular el error en cada neurona perteneciente a la capa oculta (Retropropagación).

$$\begin{aligned} \delta_A &= \text{out}_A (1 - \text{out}_A) (\delta_{\alpha} W_{A\alpha} + \delta_{\beta} W_{A\beta}) \\ \delta_B &= \text{out}_B (1 - \text{out}_B) (\delta_{\alpha} W_{B\alpha} + \delta_{\beta} W_{B\beta}) \\ \delta_C &= \text{out}_C (1 - \text{out}_C) (\delta_{\alpha} W_{C\alpha} + \delta_{\beta} W_{C\beta}) \end{aligned}$$

Nota: Debido a que no se puede calcular el error de cada neurona de la capa oculta directamente, se utiliza el error calculado en las neuronas de salida y se retroalimenta (de aquí viene el nombre del algoritmo) a las neuronas de la capa oculta a fin de calcular el error en cada una de ellas.

PASO 4: Actualizar los pesos en la capa oculta.

$$\begin{aligned} W_{\lambda A}^+ &= W_{\lambda A} + \eta \delta_A \text{in}_{\lambda} & W_{\Omega A}^+ &= W_{\Omega A} + \eta \delta_A \text{in}_{\Omega} \\ W_{\lambda B}^+ &= W_{\lambda B} + \eta \delta_B \text{in}_{\lambda} & W_{\Omega B}^+ &= W_{\Omega B} + \eta \delta_B \text{in}_{\Omega} \\ W_{\lambda C}^+ &= W_{\lambda C} + \eta \delta_C \text{in}_{\lambda} & W_{\Omega C}^+ &= W_{\Omega C} + \eta \delta_C \text{in}_{\Omega} \end{aligned}$$

Nota: El término η representa la tasa de aprendizaje y normalmente es igual a 1. Esta variable es utilizada para acelerar o desacelerar el aprendizaje requerido. Una vez actualizado todos los pesos de la red se repite el procedimiento hasta que el error generado en las salidas sea mínimo.

IV. Ejemplo Numérico

Considere la Figura 4 para el desarrollo del ejercicio planteado.

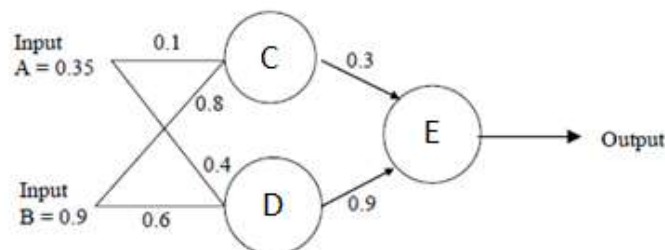


Figura 4. Ejemplo Cuantitativo

Fuente: The Backpropagation algorithm (“Algoritmo de retropropagación”)

Definimos las entradas y los pesos sinápticos de cada neurona.

Parámetro	Valor
Input_A	0.35
Input_B	0.9
W_AC	0.1
W_AD	0.4
W_BC	0.8
W_BD	0.6
W_CE	0.3
W_DE	0.9

Tabla 1. Parámetros de la red neuronal

Fuente: The Backpropagation algorithm (“Algoritmo de retropropagación”)

Nota: Se asume función de activación del tipo Sigmoid y salida deseada igual a 0.5 en la neurona final. Los valores iniciales para los pesos sinápticos típicamente son aleatorios al inicio del entrenamiento.

Realizamos el cálculo de entrada y salida para cada neurona.

- $\text{Input}_C = \text{Input}_A * W_{AC} + \text{Input}_B * W_{BC} = \mathbf{0.755}$
- $\text{Out}_C = 1 / (1 + \exp(-1 * \text{Input}_C)) = \mathbf{0.68}$
- $\text{Input}_D = \text{Input}_A * W_{AD} + \text{Input}_B * W_{BD} = \mathbf{0.68}$
- $\text{Out}_D = 1 / (1 + \exp(-1 * \text{Input}_D)) = \mathbf{0.6637}$
- $\text{Input}_E = \text{Out}_C * W_{CE} + \text{Out}_D * W_{DE} = \mathbf{0.80133}$
- $\text{Out}_E = 1 / (1 + \exp(-1 * \text{Input}_E)) = \mathbf{0.69}$

PASO 1: Calcular el error en la neurona de salida.

- $\text{Output_Error} = (\text{SP} - \text{Out}_E) * (1 - \text{Out}_E) * \text{Out}_E = \mathbf{-0.0406}$

PASO 2: Actualizar los pesos en la capa de salida.

- $W_{CE_UPDATE} = W_{CE} + \text{Output_Error} * \text{Out}_C = \mathbf{0.272392}$
- $W_{DE_UPDATE} = W_{DE} + \text{Output_Error} * \text{Out}_D = \mathbf{0.87305}$

PASO 3: Calcular el error en cada neurona perteneciente a la capa oculta.

- $\text{Error}_C = \text{Output_Error} * W_{CE_UPDATE} * (1 - \text{Out}_C) * \text{Out}_C = \mathbf{-2.406 \times 10^{-3}}$
- $\text{Error}_D = \text{Output_Error} * W_{DE_UPDATE} * (1 - \text{Out}_D) * \text{Out}_D = \mathbf{-7.916 \times 10^{-3}}$

PASO 4: Actualizar los pesos en la capa oculta.

- $W_{AC_UPDATE} = W_{AC} + \text{Error}_C * \text{Input}_A = \mathbf{0.09916}$

- $W_{BC_UPDATE} = W_{BC} + Error_C * Input_B = \mathbf{0.7978}$
- $W_{AD_UPDATE} = W_{AD} + Error_D * Input_A = \mathbf{0.3972}$
- $W_{BD_UPDATE} = W_{BD} + Error_D * Input_B = \mathbf{0.5928}$

PASO 5: Aplicar pasos, 1, 2, 3, 4 y calcular nuevamente el error en la neurona final.

- Error anterior = Set Point – Salida Real = $0.5 - 0.69 = \mathbf{-0.19}$
- Error nuevo = $\mathbf{-0.18205}$

Nota: El nuevo error disminuyó al momento que se aplicó nuevamente el algoritmo con los pesos actualizados. El algoritmo se repite tantas veces hasta que el error final en la neurona de salida disminuye a un valor mínimo global.

