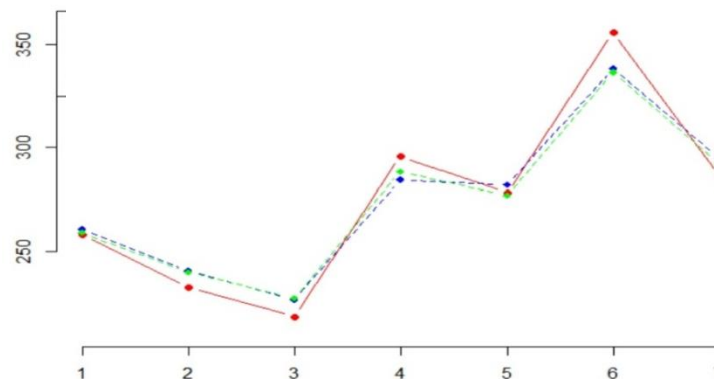


“COMPARACIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN LAS ESCUELAS ECUATORIANAS: UN CASO DE ESTUDIO”

Autor: Alejandro Toapanta

Tutor: MSc. Walberto Gallegos

Trabajo previo a la obtención del título:
Magister en Ecoeficiencia Industrial mención en
Eficiencia Energética



OBJETIVOS

- Realizar una comparación de modelos de predicción multivariante que permita detectar el coste final mensual del consumo eléctrico en la UEM Sumak Yachana Wasi
- Comprobar a base de modelos de soporte de decisión la sensibilidad al ser comparados con diferentes métricas que evalúan al error de predicción

ALCANCE

- Planificación Energética en centros educativos de Ecuador para realizar planes de ahorro en consumo de energía Eléctrica

INTRODUCCIÓN



Balance Nacional de Energía Eléctrica a Octubre 2019			
		MW	%
	Hidráulica	5073,65	58,53%
	Eólica	21,15	0,24%
	Fotovoltaica	27,63	0,32%
	Biomasa	144,3	1,66%
	Biogás	7,26	0,08%
Total Energía Renovable		5273,99	60,84%
	Térmica MCI	2010,92	23,20%
	Térmica Turbogas	921,85	10,63%
	Térmica Turbovapor	461,87	5,33%
Total Energía No Renovable		3394,63	39,16%
Total Potencia Nominal		8668,62	100%

- Tabla. ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad)

UEM SUMAK YACHANA WASI



Ministerio	Educación
Coordinación Zonal	Zona 1
Provincia	Imbabura
Cantón	Cotacachi
Parroquia	Imantag
Ciudad/Parroquia/Sector	Imantag #23 y Colimbuela sector la bodega cerca de la hacienda colimbuela
Zona Urbana/Rural	Rural
Número de Alumnos	997
Jornadas	Matutina y vespertina
Nivel de estudio	Inicial, Educación Básica y Bachillerato
Coordenadas	X=0806183 ; Y=10038491
Area Total	2,35 Hectareas

Implantación

DISTRIBUCIÓN



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES



Estándar	Cantidad
Bloque A de 12 Módulos	1
Bloque B de 12 Módulos	1
Bloque de 8 Módulos	1
Bloque de Educación Inicial	3
Bloque Laboratorio de Física y Química	1
Bloque Laboratorio de Tecnología e Idiomas	1
Bloque Administrativo	1
Bloque Comedor - Salón de Usos Múltiples	1
Bloque Biblioteca	1
Bloque Bar	1
Bloque Vestidor - Bodega	1
Cuarto de Máquinas	1
Cuarto de Bombas Y Cisterna	1
Patio Cívico	1
Cancha de Usos Múltiples	1
Cancha de Fútbol	1
Portal de Acceso	1
Areas Exteriores	1
Parqueaderos	1
Bloque de Hospedaje	1
Módulos Optativos	
Bloque de Hospedaje	1

POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA



Kvar – Potencia reactiva

O

Espuma

kW – Potencia activa

O

Cerveza

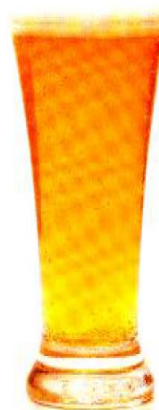
kVA – Potencia aparente

O

Vaso



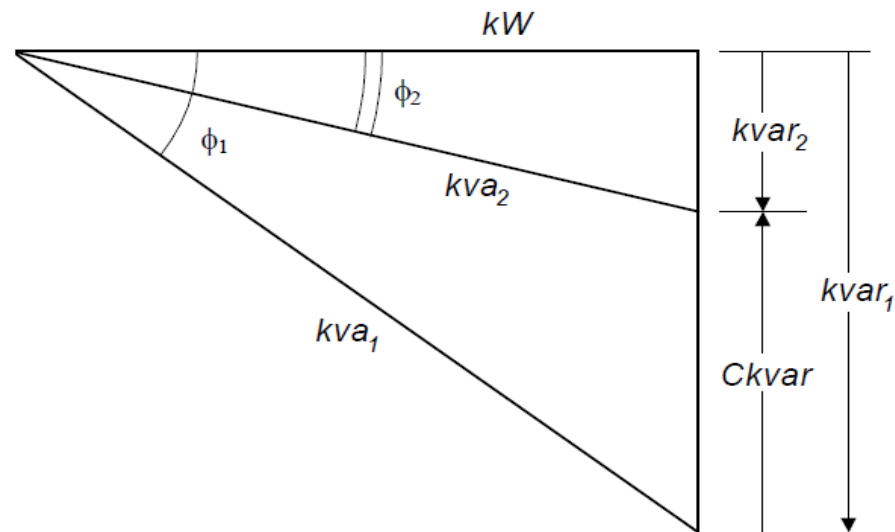
$$\frac{\text{Potencia Activa [kW]}}{\text{Potencia Aparente [kVA]}}$$



$$\frac{\text{Cerveza que puede ser consumida}}{\text{Todo el vaso de cerveza}}$$

$$PF = \frac{kW}{kVA}$$

FACTOR DE POTENCIA



KVA_1 = sin capacitores

KVA_2 = con capacitores

$$KVA_2 < KVA_1$$

$$PF = kW / kVA$$

LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO

CUARTO DE TELECOMUNICACIONES-PLANTA BAJA	Numero circuito	Potencia Unitaria	Servicio	Carga Inicial (w)	Factor de utilidad	Carga Instalada	Fase
DATA CENTER-OFICINA-PASILLO	L1	2x3x32W+2x26W	Iluminación	244	1	244	a
DATA CENTER	T1	3x200W	Tomacorrientes Normales	600	0,6	360	b
OFICINA	T2	3x200W	Tomacorrientes Normales	600	0,6	360	c
OFICINA	I-1	1x80W	Tomacorrientes Normales	80	1	80	a
			Sub Total Fase A	324		324	Fase A
			Sub Total Fase B	600		360	Fase B
			Sub Total Fase C	600		360	Fase C

RESUMEN:		
CARGA TOTAL INSTALADA	207,07	KW
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA TOTAL DIVERSIFICADA	165,66	KW
FACTOR DE POTENCIA	0,92	
DEMANDA TOTAL EN KVA	180,06	KVA
RESERVA	19,94	KVA
TRANSFORMADOR SELECCIONADO	200	KVA

PLANILLA ELÉCTRICA



Factura No. 001-999-004688628
 N° Autorización: 2504201901109005172100120019990046886
 Ambiente: PRODUCCION
 Emisión: EMISION NORMAL
 Fecha y Hora de Autorización: 26/04/2019 21:50:41
 Fecha de Emisión: 2019-04-25

1000355946083
 No. de Control: 35594608-80
 Valor a pagar: 355.93

Fecha de Vencimiento: 2019-05-17

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 355946-7 DIRECCION DISTRITAL 10D03-COTACACHI-EDUCACION
Código Único Eléctrico Nacional: 1300355946 **Cédula / R.U.C.:** 1060038230001 **Código Postal:** 100353
Dirección servicio: ROCAFUERTE IM 10 DE AGOSTO FTE. PARQUE SAN FRANCISCO
Plan/Geocódigo: 92 98-04-762-0260 **Tarifa:** 544-BENEF.PUB.DEM.REG.HOR.* (Media Tension) 2019-04-25 6
Provincia - Cantón - Parroquia: Imbabura - Cotacachi - Imantag
Dirección notificación: DIRECCION DISTRITAL 10D03-COTA 1017094 VICENTE ROCAFUERTE Y 1
Ejecutivo de cuenta: HERNAN VINICIO MEZA MALDONADO Telfs: 2641288/2641289/2641290 ext: 2264 e_mail: vmeza@emelnorte.com *

FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: T47231-LAN-TA **Desde:** 2019-03-25 **Hasta:** 2019-04-24 **Días Facturados:** 30 **Tipo consumo:** Leído **Constante:** 1.00
Factor multiplicación: 1.00 **Factor Corrección:** 1.00 **Factor Potencia:** 1.00 **Penalización Fp:** 0.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Activa 08h00 - 18h00 (L-V) 07h - 18h (L-D)	190006.00	190250.00	2403	kWh	0
Activa 18h00 - 22h00 (L-V) 18h - 22h (L-D)	15006.00	14467.00	539	kWh	35.75
Activa 22h00 - 08h00 (L-V)* 22h - 07h (L-D)	143336.00	142025.00	1338	kWh	72.31
Reactiva 00h - 24h (L-D)	32625.00	32621.00	4	kVArh	0
Demanda 08h00 - 18h00 (L-V) 07h - 18h (L-D)	13.58		14	kW	0
Demanda 18h00 - 22h00 (L-V) 18h - 22h (L-D)	14.12		14	kW	0
Demanda 22h00 - 08h00 (L-V)* 22h - 07h (L-D)	8.00		8	kW	0
Maxima			14	kW	0
Demanda Cliente			14	kW	0

Consumo Interno Transformador	Consumo	Unid.
Energía	54	kWh
Demanda	1	kW

Consumos

Demanda facturada

SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

VALOR CONSUMO:	108.06
DEMANDA	42.00
CONSUMO 08h-18h	156.19
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A.(0%)	0.00
SERVICIO ELÉCTRICO (1.1):	307.66
ALUMBRADO PUBLICO	47.90
ALUMBRADO PÚBLICO (1.2):	47.90

OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO

INTERES MORA	0.37
OTROS (1.3):	0.37
TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3):	355.93

VALORES FACTURADOS



Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Activa 08h00 - 18h00 (L-V) 07h - 18h (L-D)	198606.00	196250.00	2403	kWh	0
Activa 18h00 - 22h00 (L-V) 18h - 22h (L-D)	15006.00	14467.00	550	kWh	35.75
Activa 22h00 - 08h00 (L-V)* 22h - 07h (L-D)	143338.00	142025.00	1339	kWh	72.31
Reactiva 00h - 24h (L-D)	32625.00	32621.00	4	kVArh	0
Demanda 08h00 - 18h00 (L-V) 07h - 18h (L-D)	13.59		14	kW	0
Demanda 18h00 - 22h00 (L-V) 18h - 22h (L-D)	14.12		14	kW	0
Demanda 22h00 - 18h00 (L-V)* 22h - 07h (L-D)	8.06		8	kW	0
Maxima			14	kW	0
Demanda Cliente			14	kW	0

Consumo Interno Transformador	Consumo	Unid.
Energía	84	kWh
Demanda	1	kW

PLANILLAS 2017-2019



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES

CONSUMO ELÉCTRICO UEM SUMAK YACHANA WASI								
MES/AÑO	P. ACTIVA (8:00 - 18:00) KWh	P. ACTIVA (18:00 - 22:00) KWh	P. ACTIVA (22:00 - 8:00) KWh	P. REACTIVA (00h - 24h) KVARh	DEMAND A (8:00 - 18:00) KW	DEMAND A (18:00 - 22:00) KW	DEMAND A (22:00 - 8:00) KW	Valor Factura (USD)
ene-17	3062		2025	300	16	9		370,62
feb-17	2010		1506	653	11	11		270,15
mar-17	2303	370	1435	292	15	8	8	307,29
abr-17	1663	522	1121	275	17	7	7	258,14
may-17	2043	642	1381	248	13	11	9	311,99
jun-17	1939	545	1107	148	20	15	9	295,08
jul-17	1438	518	1139	79	9	5	5	232,63
ago-17	989	558	1277	70	7	9	9	227,98
sep-17	1301	1052	2501	142	8	12	12	358,51
oct-17	1807	951	2245	214	11	13	13	376,11
nov-17	1620	638	1954	218	15	15	9	356,08
dic-17	1676	579	1348	162	13	10	11	274,93
ene-18	1901	567	1265	332	15	14	8	299,62
feb-18	1321	451	1015	310	15	7	6	218,38
mar-18	1645	509	1110	192	12	8	8	249,51
abr-18	1856	631	1355	210	10	6	6	295,87
may-18	1770	570	1248	182	10	7	6	275,74
jun-18	1772	595	1320	281	10	5	5	276,48
jul-18	1519	557	1337	163	15	5	9	274,38
ago-18	936	435	1130	1	5	8	8	202,97
sep-18	1700	612	1508	4	18	13	9	309,94
oct-18	1525	498	1153	0	10	8	8	252,3
nov-18	1885	606	1349	22	14	13	8	312,99
dic-18	1712	539	1207	10	14	10	8	278,16
ene-19	1877	545	1329	4	11	15	8	316,44
feb-19	1757	549	1301	5	9	8	8	299,14
mar-19	915	498	1156	7	10	14	8	245,96
abr-19	2403	550	1339	4	14	14	8	355,93
may-19	1613	483	1068	3	9	6	5	249,18
jun-19	1845	601	1530	4	8	6	5	285,97
jul-19	1561	523	1369	6	14	11	8	274,6
ago-19	1004	429	1230	1	6	10	12	219,07

CRITERIO DE ELIMINACIÓN HACIA ATRÁS



34.938803	13.354928	2.616	0.017494	*
0.054831	0.007963	6.886	1.93e-06	***
0.087445	0.023630	3.701	0.001637	**
0.053124	0.010780	4.928	0.000109	***
-0.031909	0.017829	-1.790	0.090324	.
1.196235	0.906645	1.319	0.203570	
2.556066	0.856984	2.983	0.007981	**

' 0.001 '***' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

APLICACIÓN DE ELIMINACIÓN HACIA ATRÁS



38.098136	14.160240	2.691	0.014067	*
0.057864	0.005946	9.731	4.99e-09	***
0.104660	0.023898	4.379	0.000290	***
0.042576	0.010362	4.109	0.000545	***
3.198316	0.794444	4.026	0.000662	***

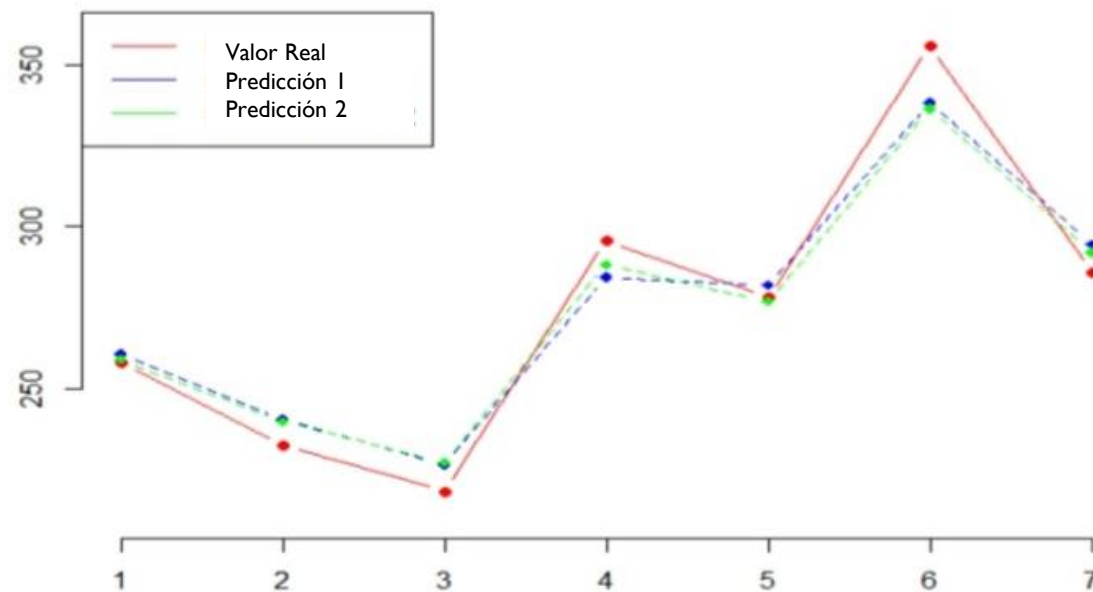
' 0.001 '' 0.01 '* ' 0.05 '. ' 0.1 ' ' 1

MODELOS DE PREDICCIÓN MULTIVARIANTE

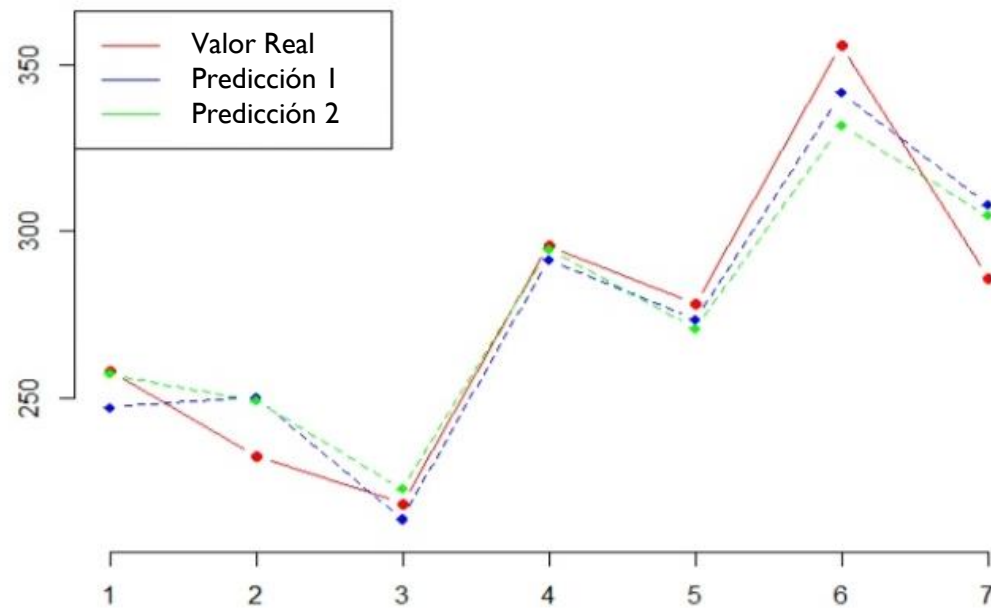


- MATRIZ DE COBERTURA LINEAL
- MULTIVARIANTE POLINÓMICA
- MÁQUINAS DE SOPORTE DE DECISIÓN (SVM)
- ARBOL DE DESICIÓN
- K-NN

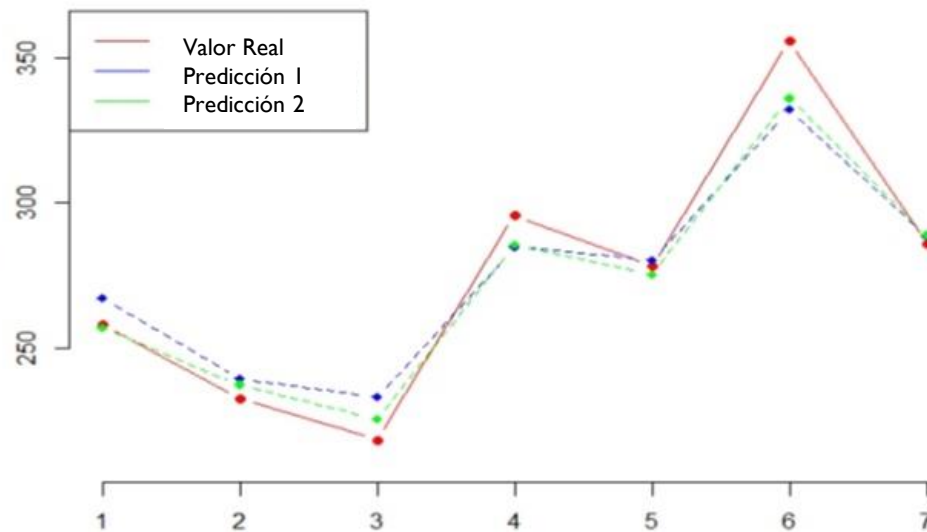
MATRIZ DE COBERTURA LINEAL



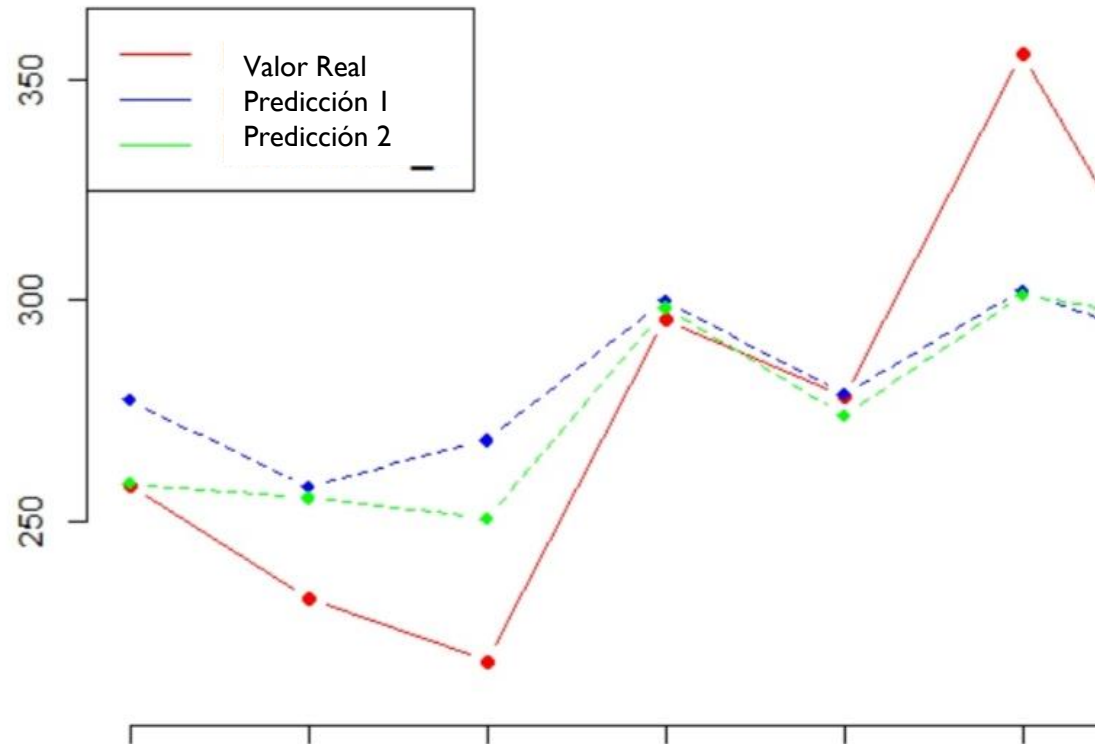
MULTIVARIANTE POLINÓMICA



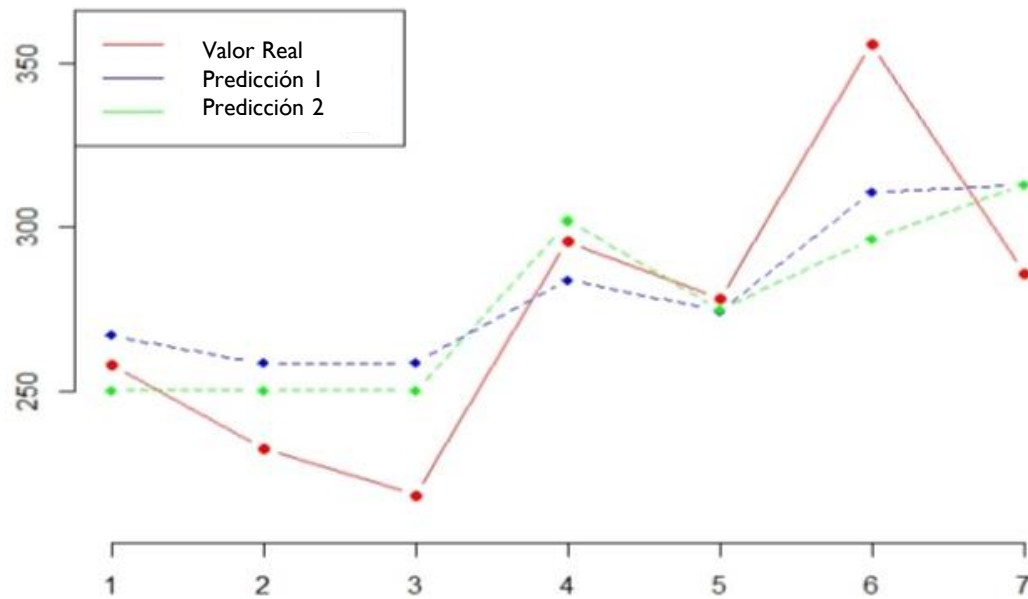
MÁQUINAS DE SOPORTE DE DECISIÓN (SVM)



RANDOM FOREST



K-NN

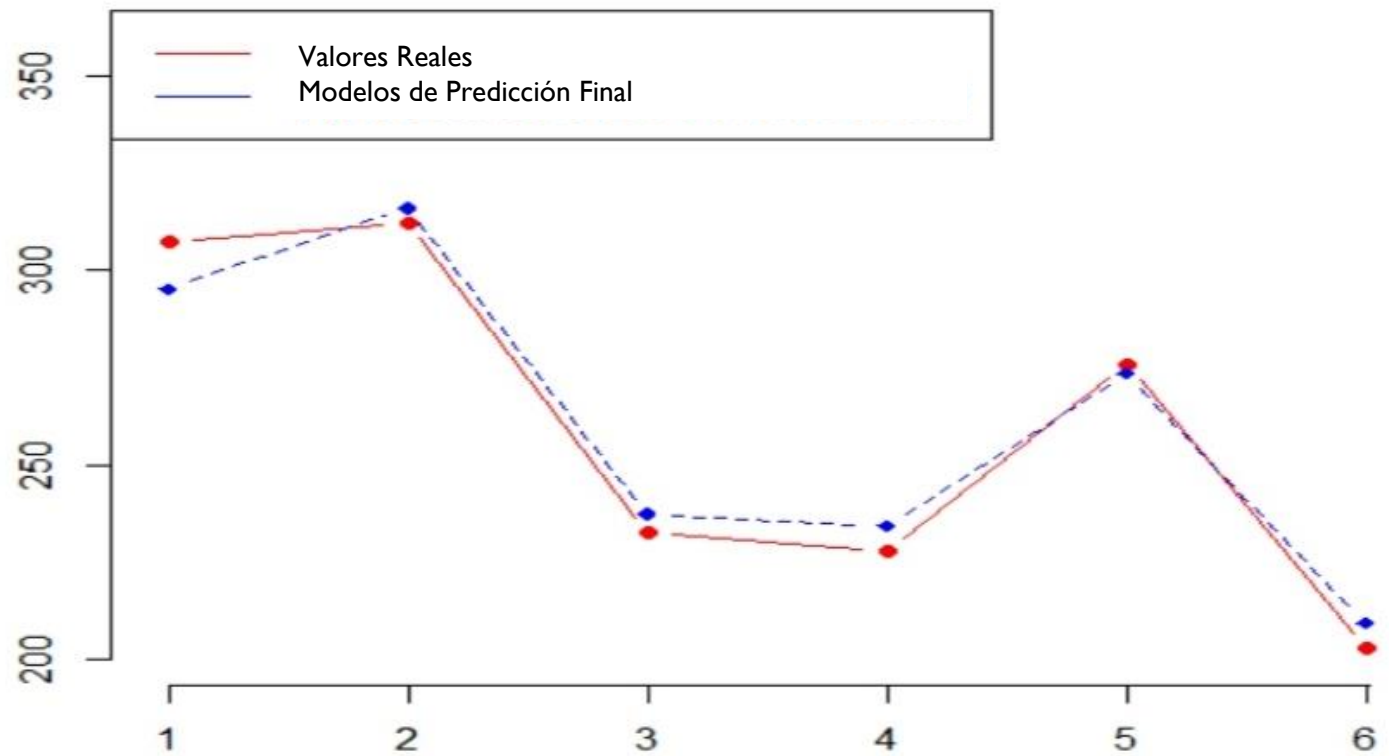


RESULTADOS

Tabla 1. Análisis de Error

Modelo Matriz Error	Lineal		Polinómico		SVN		Árbol de decisión		K-NN	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
CFE	0.36	-0.67	0.12	0.87	0.08	-2.71	6.84	1.13	6	1.75
MAD	1.23	1.05	1.59	1.49	1.43	0.99	3.16	2.55	2.55	3.32
RMSE	0.01	0.06	0.001	0.11	0.001	1.05	6.69	0.18	5.14	0.43
MAPE	4.3	3.7	4.8	5.2	5.1	3.4	11.9	9.2	12.3	11.1

MODELO FINAL



CONCLUSIONES



- Se pueden realizar planes de ahorro de consumo energético y validarlo en entornos reales, debido a que en algunos sectores la lectura de los medidores es de forma manual, y existen mucho errores de lectura y cobros indebidos a los usuarios.
- El modelo SVM se ajusta de mejor manera a los criterios establecidos con sus algoritmos de Árbol de Decisión o k-NN.
- La aplicación de Eliminación hacia atrás permitió reducir la base de datos de entrenamiento y enfocarse en los atributos que aportan mas información al modelo.

RECOMENDACIONES



- Se plantea instalar sensores de medición de corriente (TC), con el objetivo de generar una medida propia de consumo energético evitando errores al momento de lecturas fallidas.
- Establecer recomendaciones y políticas de corrección de factor de potencia para contar con rubros adecuados y sujetos a mejoras

BIBLIOGRAFÍA



- [1] T. Ishtiak, R. M. Orpon, N. Mashnoor, M. Ahmed, and M. A. Nazim, “An advanced application to decrease household power consumption and save energy detecting the weather condition,” in *2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, IEMCON 2017*, 2017, pp. 622–627.
- [2] K. Dmitri, A. Maria, and A. Anna, “Comparison of regression and neural network approaches to forecast daily power consumption,” in *Proceedings - 2016 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2016*, 2017, pp. 247–250.
- [3] X. M. Zhang, K. Grolinger, M. A. M. Capretz, and L. Seewald, “Forecasting Residential Energy Consumption: Single Household Perspective,” in *Proceedings - 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2018*, 2019, pp. 110–117.

BIBLIOGRAFÍA



- [4] Y. Sun, W. Gu, J. Lu, and Z. Yang, “Fuzzy clustering algorithm-based classification of daily electrical load patterns,” in *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2015*, 2016, pp. 50–54.
- [5] B. Yildiz, J. I. Bilbao, J. Dore, and A. B. Sproul, “Recent advances in the analysis of residential electricity consumption and applications of smart meter data,” *Applied Energy*, vol. 208. Elsevier Ltd, pp. 402–427, 15-Dec-2017.
- [6] Y. Liu, W. Wang, and N. Ghadimi, “Electricity load forecasting by an improved forecast engine for building level consumers,” *Energy*, vol. 139, pp. 18–30, 2017.
- [7] H. X. Zhao and F. Magoulès, “A review on the prediction of building energy consumption,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6. pp. 3586–3592, Aug-2012.
- [8] M. Baquero and F. Quesada, “Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador,” *MASKANA*, vol. 7, no. 2, pp. 147–165, Dec. 2016.
- [9] D. Gabriel and T. Urgilés, “UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.”

BIBLIOGRAFÍA

- [10] “UEM en Funcionamiento – Ministerio de Educación.” [Online]. Available: <https://educacion.gob.ec/uem-en-funcionamiento/>. [Accessed: 24-Sep-2019].
- [11] “Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – Ente rector del Sector Eléctrico Ecuatoriano.” [Online]. Available: <http://historico.energia.gob.ec/>. [Accessed: 24-Sep-2019].
- [12] P. D. Rosero-Montalvo *et al.*, “Wireless Sensor Networks for Irrigation in Crops Using Multivariate Regression Models,” in *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 2018, pp. 1–6.
- [13] X. Huang and S. Wang, “Prediction of bottom-hole flow pressure in coalbed gas wells based on GA optimization SVM,” in *Proceedings of 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2018*, 2018, pp. 138–141.
- [14] X. Ye, X. Wu, and Y. Guo, “Real-time Quality Prediction of Casting Billet Based on Random Forest Algorithm,” in *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing, PIC 2018*, 2019, pp. 140–143.
- [15] L. He, Q. Song, and J. Shen, “K-NN numeric prediction using bagging and instance-relevant combination,” in *Proceedings - 2nd International Symposium on Data, Privacy, and E-Commerce, ISDPE 2010*, 2010, pp. 3–8.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN